

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-001458

(43)Date of publication of application : 08.01.2003

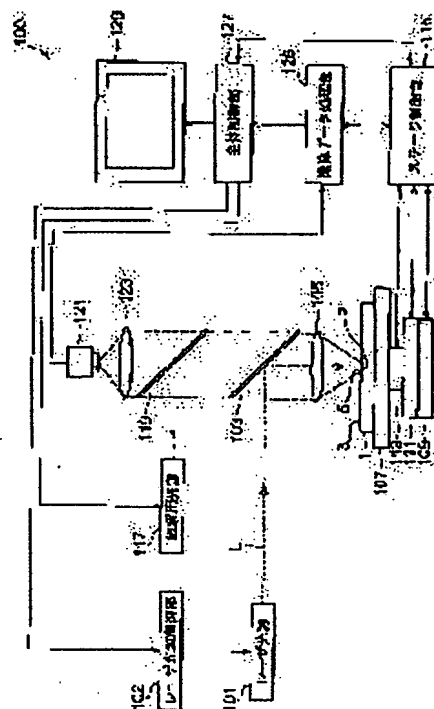
(51)Int.Cl. B23K 26/00
 B23K 26/04
 B28D 5/00
 C03B 33/09
 H01L 21/301
 // B23K101:40

(21)Application number : 2002-093204 (71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK
 (22)Date of filing : 13.09.2001 (72)Inventor : FUKUYO FUMITSUGU
 FUKUMITSU KENJI
 UCHIYAMA NAOKI
 WAKUTA TOSHIMITSU

(30)Priority
 Priority number : 2000278306 Priority date : 13.09.2000 Priority country : JP

(54) LASER BEAM MACHINING METHOD

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser beam machining method which is capable of cutting an object for machining without the occurrence of melting and a crack deviating from a planned cutting line on the surface of the object for machining.
SOLUTION: This laser beam machining method has a process step of irradiating the inside of the object 1 for machining with the laser beam by aligning a condensing point P thereto and forming a reformed region which is a planned cutting section within the inside of the object 1 for machining along the planned cutting line 5 of the object 1 for machining and a process step of exerting a stress to the object 1 for machining after the formation of the reformed region which is the planned cutting section and growing the crack initiating from the reformed region within the object 1 for machining as a start point tilt the surface of the subject 1 for machining, thereby separating the object 1 for machining.



LEGAL STATUS

- [Date of request for examination]
- [Date of sending the examiner's decision of rejection]
- [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-1458

(P2003-1458A)

(43)公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	キーワード(参考)
B 2 3 K 26/00	3 2 0	B 2 3 K 26/00	3 2 0 E 3 C 0 6 9
			D 4 E 0 6 8
26/04		26/04	C 4 G 0 1 5
B 2 8 D 5/00		B 2 8 D 5/00	Z
C 0 3 B 33/09		C 0 3 B 33/09	

審査請求 未請求 請求項の数 1 OL (全 18 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2002-93204(P2002-93204)
(62)分割の表示 特願2001-278768(P2001-278768)の
分割
(22)出願日 平成13年9月13日(2001.9.13)
(31)優先権主張番号 特願2000-278306(P2000-278306)
(32)優先日 平成12年9月13日(2000.9.13)
(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000236436
浜松ホトニクス株式会社
静岡県浜松市市野町1126番地の1
(72)発明者 福世 文嗣
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内
(72)発明者 福満 憲志
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内
(74)代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

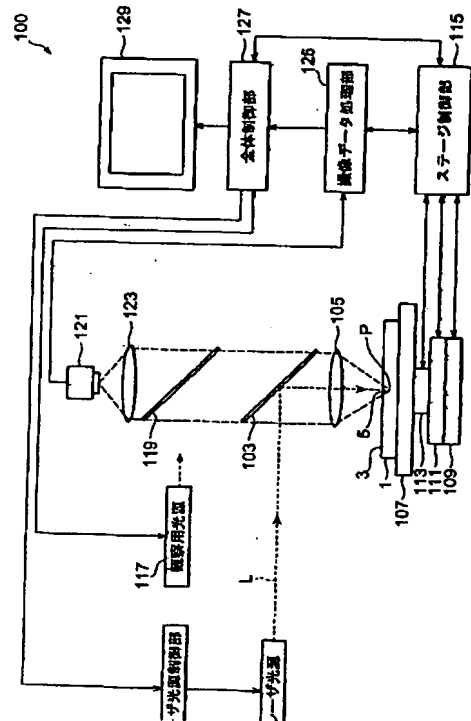
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ加工方法

(57)【要約】

【課題】 加工対象物の表面に溶融や切断予定ラインから外れた割れが生じることなく、加工対象物を切断することができるレーザ加工方法を提供すること。

【解決手段】 本発明に係るレーザ加工方法は、加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射し、加工対象物1の切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に切断予定部となる改質領域を形成する工程と、切断予定部となる改質領域の形成後、加工対象物1に応力を加え、加工対象物1の内部の改質領域を起点とするクラックを加工対象物1の表面まで成長させて加工対象物1を分離する工程とを備えることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射し、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に切断予定部となる改質領域を形成する工程と、
前記切断予定部となる改質領域の形成後、前記加工対象物に応力を加え、前記加工対象物の内部の改質領域を起点とするクラックを前記加工対象物の表面まで成長させて前記加工対象物を分離する工程と、を備えるレーザー加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体材料基板、圧電材料基板やガラス基板等の加工対象物の切断に使用されるレーザー加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】レーザー応用の一つに切断があり、レーザーによる一般的な切断は次の通りである。例えば半導体ウェハやガラス基板のような加工対象物の切断する箇所に、加工対象物が吸収する波長のレーザー光を照射し、レーザー光の吸収により切断する箇所において加工対象物の表面から裏面に向けて加熱溶融を進行させて加工対象物を切断する。しかし、この方法では加工対象物の表面のうち切断する箇所となる領域周辺も溶融される。よって、加工対象物が半導体ウェハの場合、半導体ウェハの表面に形成された半導体素子のうち、上記領域付近に位置する半導体素子が溶融する恐れがある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】加工対象物の表面の溶融を防止する方法として、例えば、特開2000-219528号公報や特開2000-15467号公報に開示されたレーザーによる切断方法がある。これらの公報の切断方法では、加工対象物の切断する箇所をレーザー光により加熱し、そして加工対象物を冷却することにより、加工対象物の切断する箇所に熱衝撃を生じさせて加工対象物を切断する。

【0004】しかし、これらの公報の切断方法では、加工対象物に生じる熱衝撃が大きいと、加工対象物の表面に、切断予定ラインから外れた割れやレーザー照射していない先の箇所までの割れ等の不必要な割れが発生することがある。よって、これらの切断方法では精密切断をすることができない。特に、加工対象物が半導体ウェハ、液晶表示装置が形成されたガラス基板や電極パターンが形成されたガラス基板の場合、この不必要な割れにより半導体チップ、液晶表示装置や電極パターンが損傷することがある。また、これらの切断方法では平均入力エネルギーが大きいので、半導体チップ等に与える熱的ダメージも大きい。

【0005】本発明の目的は、加工対象物の表面に不

いレーザー加工方法を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明に係るレーザー加工方法は、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射し、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に切断予定部となる改質領域を形成する工程と、切断予定部となる改質領域の形成後、加工対象物に応力を加え、加工対象物の内部の改質領域を起点とするクラックを加工対象物の表面まで成長させて加工対象物を分離する工程とを備えることを特徴とする。

【0007】本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射し、加工対象物の内部に改質領域を形成している。加工対象物の切断する箇所に何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。本発明に係るレーザー加工方法によれば、改質領域を起点として切断予定ラインに沿って加工対象物が割れることにより、加工対象物を切断することができる。よって、比較的小さな力で加工対象物を切断することができるので、加工対象物の表面に切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物の切断が可能となる。

【0008】また、本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の内部に局所的に改質領域を形成している。よって、加工対象物の表面ではレーザー光がほとんど吸収されないので、加工対象物の表面が溶融することはない。なお、集光点とはレーザー光が集光した箇所のことである。切断予定ラインは加工対象物の表面や内部に実際に引かれた線でもよいし、仮想の線でもよい。また、加工対象物への応力の印加は、例えば、加工対象物に押圧部材を押圧することにより可能となる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて説明する。本実施形態に係るレーザー加工方法は、多光子吸収により改質領域を形成している。多光子吸収はレーザー光の強度を非常に大きくした場合に発生する現象である。まず、多光子吸収について簡単に説明する。

【0010】材料の吸収のバンドギャップ E_c よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_c$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザー光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_c$ の条件($n=2, 3, 4, \dots$ である)で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザー光の強度はレーザー光の集光点のピークパワー密度(W/cm^2)で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザー光の1パルス当たりのエネルギー)

り求められる。また、連続波の場合、レーザー光の強度はレーザー光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

【0011】このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザー加工の原理について図1～図6を用いて説明する。図1はレーザー加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のI-I線に沿った断面図であり、図3はレーザー加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のI-V線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は

切断された加工対象物1の平面図である。
【0012】図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザー加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザー光Lが集光した箇所のことである。

【0013】レーザー光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち矢印A方向に沿って)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成される。本実施形態に係るレーザー加工方法は、加工対象物1がレーザー光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザー光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザー光Lがほとんど吸収されないで、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

【0014】加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

【0015】なお、改質領域を起点とした加工対象物の切断は、次の二通りが考えられる。一つは、改質領域形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、改質領域を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚みが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の一つは、改質領域を形成することにより、改質領域を起点として加工対象物の断面方向(厚さ方向)に向かって自然に割れ、結果的に加工対象

の厚みが小さい場合、改質領域が1つでも可能であり、加工対象物の厚みが大きい場合、厚さ方向に複数の改質領域を形成することで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所の表面上において、改質領域が形成されていない部分まで割れが先走ることがなく、改質部を形成した部分のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウエハ等の半導体ウエハの厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

【0016】さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域として、次の(1)～(3)がある。

【0017】(1)改質領域が一つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合
レーザー光を加工対象物(例えばガラスやLiTaO₃からなる圧電材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件で照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2)である。パルス幅は例えば $1 ns \sim 200 ns$ が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザー熱加工研究会論文集(1998年、12月)の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

【0018】本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は次ぎの通りである。

(A)加工対象物：パイレックス(登録商標)ガラス(厚さ $700 \mu m$)

(B)レーザー

光源：半導体レーザー励起Nd:YAGレーザー

波長： $1064 nm$

レーザー光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} cm^2$

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数： $100 kHz$

パルス幅： $30 ns$

出力：出力 $< 1 mJ$ /パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C)集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率： 60 パーセント

0 mm/秒

なお、レーザ光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0019】図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} (W/cm²)程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなるのが分かる。

【0020】次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は一つ又は複数のクラックを含む領域である。図9に示すようにクラック領域9を起点としてクラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面21に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0021】(2)改質領域が熔融処理領域の場合レーザ光を加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上でかつパルス幅が1 μs以下の条件で照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域、熔融状態中の領域及び熔融から再固化する状態中の領域のうち少なくともいずれか一つを意味する。また、熔融処理領域は相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及

工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。なお、電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1 ns～200 nsが好ましい。

【0022】本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次ぎの通りである。

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ350 μm、外径4インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd：YAGレーザ

波長：1064 nm

レーザ光スポット断面積： 3.14×10^{-8} cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：20 μJ/パルス

レーザ光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50倍

NA：0.55

レーザ光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0023】図12は上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域の厚さ方向の大きさは100 μm程度である。

【0024】熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚みtが50 μm、100 μm、200 μm、500 μm、1000 μmの各々について上記関係を示した。

【0025】例えば、Nd：YAGレーザの波長である1064 nmにおいて、シリコン基板の厚みが500 μm以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350 μmであるので、多光子吸収による熔融処理領域はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から175 μmの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200 μmのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザ光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過す

が吸収されて、熔融処理領域がシリコンウェハ11の内部に形成（つまりレーザー光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集（2000年4月）の第72頁～第73頁の「ピコ秒パルスレーザーによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

【0026】なお、シリコンウェハは、熔融処理領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面に到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。なお、熔融処理領域からシリコンウェハの表面と裏面に割れが自然に成長するのは、一旦熔融後再固化した状態となった領域から割れが成長する場合、熔融状態の領域から割れが成長する場合及び熔融から再固化する状態の領域から割れが成長する場合のうち少なくともいずれか一つである。いずれの場合も切断後の切断面は図12に示すように内部にのみ熔融処理領域が形成される。加工対象物の内部に熔融処理領域を形成する場合、切断時、切断予定ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

【0027】(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合レーザー光を加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上でかつパルス幅が $1ns$ 以下の条件で照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2) である。パルス幅は例えば $1ns$ 以下が好ましく、 $1ps$ 以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0028】次に、本実施形態の具体例を説明する。

【0029】[第1例] 本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法について説明する。図14はこの方法に使用できるレーザー加工装置100の概略構成図である。レーザー加工装置100は、レーザー光Lを発生するレーザー光源101と、レーザー光Lの出力やパルス幅等を調節するためにレーザー光源101を制御するレーザー光源制御部102と、レーザー光Lの反射機能を有しかつレーザー光Lの光軸の向きを 90° 変えるように配置されたダイクロイック

されたレーザー光Lを集光する集光用レンズ105と、集光用レンズ105で集光されたレーザー光Lが照射される加工対象物1が載置される載置台107と、載置台107をX軸方向に移動させるためのX軸ステージ109と、載置台107をX軸方向に直交するY軸方向に移動させるためのY軸ステージ111と、載置台107をX軸及びY軸方向に直交するZ軸方向に移動させるためのZ軸ステージ113と、これら三つのステージ109、111、113の移動を制御するステージ制御部115と、を備える。

【0030】Z軸方向は加工対象物1の表面3と直交する方向なので、加工対象物1に入射するレーザー光Lの焦点深度の方向となる。よって、Z軸ステージ113をZ軸方向に移動させることにより、加工対象物1の内部にレーザー光Lの集光点Pを合わせることができる。また、この集光点PのX（Y）軸方向の移動は、加工対象物1をX（Y）軸ステージ109（111）によりX（Y）軸方向に移動させることにより行う。X（Y）軸ステージ109（111）が移動手段の一例となる。

【0031】レーザー光源101はパルスレーザー光を発生するNd：YAGレーザーである。レーザー光源101に用いることができるレーザーとして、この他、Nd：YVO₄レーザー、Nd：YLFレーザーやチタンサファイアレーザーがある。クラック領域や熔融処理領域を形成する場合、Nd：YAGレーザー、Nd：YVO₄レーザー、Nd：YLFレーザーを用いるのが好適である。屈折率変化領域を形成する場合、チタンサファイアレーザーを用いるのが好適である。

【0032】第1例では加工対象物1の加工にパルスレーザー光を用いているが、多光子吸収を起こさせることができるなら連続波レーザー光でもよい。なお、本発明においてレーザー光はレーザービームを含む意味である。集光用レンズ105は集光手段の一例である。Z軸ステージ113はレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段の一例である。集光用レンズ105をZ軸方向に移動させることによっても、レーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせることができる。

【0033】レーザー加工装置100はさらに、載置台107に載置された加工対象物1を可視光線により照明するために可視光線を発生する観察用光源117と、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された可視光用のビームスプリッタ119と、を備える。ビームスプリッタ119と集光用レンズ105との間にダイクロイックミラー103が配置されている。ビームスプリッタ119は、可視光線の約半分を反射し残りの半分を透過する機能を有しかつ可視光線の光軸の向きを 90° 変えるように配置されている。観察用光源117から発生した可視光線はビームスプリッタ119で約半分が反射され、この反射された可視光線

を透過し、加工対象物1の切断予定ライン5等を含む表面3を照明する。

【0034】レーザ加工装置100はさらに、ビームスプリッタ119、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された撮像素子121及び結像レンズ123を備える。撮像素子121としては例えばCCD (charge-coupled device) カメラがある。切断予定ライン5等を含む表面3を照明した可視光線の反射光は、集光用レンズ105、ダイクロイックミラー103、ビームスプリッタ119を透過し、結像レンズ123で結像されて撮像素子121で撮像され、撮像データとなる。

【0035】レーザ加工装置100はさらに、撮像素子121から出力された撮像データが入力される撮像データ処理部125と、レーザ加工装置100全体を制御する全体制御部127と、モニタ129と、を備える。撮像データ処理部125は、撮像データを基にして観察用光源117で発生した可視光の焦点が表面3上に合わせるための焦点データを演算する。この焦点データを基にしてステージ制御部115がZ軸ステージ113を移動制御することにより、可視光の焦点が表面3に合うようにする。よって、撮像データ処理部125はオートフォーカスユニットとして機能する。また、撮像データ処理部125は、撮像データを基にして表面3の拡大画像等の画像データを演算する。この画像データは全体制御部127に送られ、全体制御部で各種処理がなされ、モニタ129に送られる。これにより、モニタ129に拡大画像等が表示される。

【0036】全体制御部127には、ステージ制御部115からのデータ、撮像データ処理部125からの画像データ等が入力し、これらのデータも基にしてレーザ光源制御部102、観察用光源117及びステージ制御部115を制御することにより、レーザ加工装置100全体を制御する。よって、全体制御部127はコンピュータユニットとして機能する。

【0037】次に、図14及び図15を用いて、本実施形態の第1例に係るレーザ加工方法を説明する。図15は、このレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。加工対象物1はシリコンウェハである。

【0038】まず、加工対象物1の光吸収特性を図示しない分光光度計等により測定する。この測定結果に基づいて、加工対象物1に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光Lを発生するレーザ光源101を選定する(S101)。次に、加工対象物1の厚さを測定する。厚さの測定結果及び加工対象物1の屈折率を基にして、加工対象物1のZ軸方向の移動量を決定する(S103)。これは、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部に位置させるために、加工対象物1の表面3に位置するレーザ光Lの集光点を基準とした加工対象物1の

7に入力される。

【0039】加工対象物1をレーザ加工装置100の載置台107に載置する。そして、観察用光源117から可視光を発生させて加工対象物1を照明する(S105)。照明された切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3を撮像素子121により撮像する。この撮像データは撮像データ処理部125に送られる。この撮像データに基づいて撮像データ処理部125は観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置するような焦点データを演算する(S107)。

【0040】この焦点データはステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115は、この焦点データを基にしてZ軸ステージ113をZ軸方向の移動させる(S109)。これにより、観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置する。なお、撮像データ処理部125は撮像データに基づいて、切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3の拡大画像データを演算する。この拡大画像データは全体制御部127を介してモニタ129に送られ、これによりモニタ129に切断予定ライン5付近の拡大画像が表示される。

【0041】全体制御部127には予めステップS103で決定された移動量データが入力されており、この移動量データがステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115はこの移動量データに基づいて、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部となる位置に、Z軸ステージ113により加工対象物1をZ軸方向に移動させる(S111)。

【0042】次に、レーザ光源101からレーザ光Lを発生させて、レーザ光Lを加工対象物1の表面3の切断予定ライン5に照射する。レーザ光Lの集光点Pは加工対象物1の内部に位置しているので、熔融処理領域は加工対象物1の内部にのみ形成される。そして、切断予定ライン5に沿うようにX軸ステージ109やY軸ステージ111を移動させて、熔融処理領域を切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成する(S113)。そして、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って曲げることにより、加工対象物1を切断する(S115)。これにより、加工対象物1をシリコンチップに分割する。

【0043】第1例の効果を説明する。これによれば、多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Pを合わせて、パルスレーザ光Lを切断予定ライン5に照射している。そして、X軸ステージ109やY軸ステージ111を移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させている。これにより、改質領域(例えばクラック領域、熔融処理領域、屈折率変化領域)を切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成している。加工対象物の切断する箇所には何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな

起点として切断予定ライン5に沿って加工対象物1を割ることにより、比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。これにより、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物1を切断することができる。

【0044】また、第1例によれば、加工対象物1に多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Pを合わせて、パルスレーザー光Lを切断予定ライン5に照射している。よって、パルスレーザー光Lは加工対象物1を透過し、加工対象物1の表面3ではパルスレーザー光Lがほとんど吸収されないので、改質領域形成が原因で表面3が熔融等のダメージを受けることはない。

【0045】以上説明したように第1例によれば、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れや熔融が生じることなく、加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1が例えば半導体ウェハの場合、半導体チップに切断予定ラインから外れた不必要な割れや熔融が生じることなく、半導体チップを半導体ウェハから切り出すことができる。表面に電極パターンが形成されている加工対象物や、圧電素子ウェハや液晶等の表示装置が形成されたガラス基板のように表面に電子デバイスが形成されている加工対象物についても同様である。よって、第1例によれば、加工対象物を切断することにより作製される製品（例えば半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置）の歩留まりを向上させることができる。

【0046】また、第1例によれば、加工対象物1の表面3の切断予定ライン5は熔融しないので、切断予定ライン5の幅（この幅は、例えば半導体ウェハの場合、半導体チップとなる領域同士の間隔である。）を小さくできる。これにより、一枚の加工対象物1から作製される製品の数が増え、製品の生産性を向上させることができる。

【0047】また、第1例によれば、加工対象物1の切断加工にレーザー光を用いるので、ダイヤモンドカッターを用いたダイシングよりも複雑な加工が可能となる。例えば、図16に示すように切断予定ライン5が複雑な形状であっても、第1例によれば切断加工が可能となる。これらの効果は後に説明する例でも同様である。

【0048】なお、レーザー光源は一つに限らず複数でもよい。例えば、図17はレーザー光源が複数における本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法を説明する模式図である。これは、三つのレーザー光源15、17、19から出射された三つのレーザー光を加工対象物1の内部に集光点Pを合わせて異なる方向から照射している。レーザー光源15、17からの各レーザー光は加工対象物1の表面3から入射する。レーザー光源19からのレーザー光は加工対象物1の裏面3から入射する。これによれば、複数のレーザー光源を用いるので、レーザー光がパルスレーザー光に比

の電界強度を多光子吸収が発生する大きさにすることが可能となる。同様の理由により集光用レンズがなくても多光子吸収が発生させることが可能となる。なお、この例では三つのレーザー光源15、17、19により集光点Pを形成しているが、本発明はこれに限定されずレーザー光源が複数であればよい。

【0049】図18はレーザー光源が複数における本実施形態の第1例に係る他のレーザー加工方法を説明する模式図である。この例は、複数のレーザー光源23が切断予定ライン5に沿って一列に配置された三つのアレイ光源部25、27、29を備えている。アレイ光源部25、27、29の各々において同じ列に配置されたレーザー光源23から出射されたレーザー光が一つの集光点（例えば集光点P1）を形成する。この例によれば切断予定ライン5に沿って複数の集光点P1、P2、・・・を同時に形成することができるので、加工速度を向上させることができる。また、この例では、表面3上であって切断予定ライン5と直交する方向にレーザスキャンすることで改質領域を複数列同時に形成することも可能である。

【0050】〔第2例〕次に、本実施形態の第2例について説明する。この例は光透過性材料の切断方法及び切断装置である。光透過性材料は加工対象物の一例である。この例では、光透過性材料としてLiTaO₃からなる厚さが400μm程度の圧電素子ウェハ（基板）を用いている。

【0051】第2例に係る切断装置は、図14に示すレーザー加工装置100及び図19、図20に示す装置から構成される。図19及び図20に示す装置について説明する。圧電素子ウェハ31は、保持手段としてのウェハシート（フィルム）33に保持されている。このウェハシート33は、圧電素子ウェハ31を保持する側の面が粘着性を有する樹脂製テープ等からなり、弾性を有している。ウェハシート33は、サンプルホルダ35に挟持されて、載置台107上にセットされる。なお、圧電素子ウェハ31は、図19に示されるように、後に切断分離される多数個の圧電デバイスチップ37を含んでいる。各圧電デバイスチップ37は回路部39を有している。この回路部39は、圧電素子ウェハ31の表面に各圧電デバイスチップ37毎に形成されており、隣接する回路部39の間には所定の間隔α（80μm程度）が形成されている。なお、図20は、圧電素子ウェハ31の内部のみに改質部としての微小なクラック領域9が形成された状態を示している。

【0052】次に、図21に基づいて、第2例に係る光透過性材料の切断方法について説明する。まず、切断対象材料となる光透過性材料（第2例においては、LiTaO₃からなる圧電素子ウェハ31）の光吸収特性を測定する（S201）。光吸収特性は、分光光度計等を用いることにより測定可能である。光吸収特性が測定され

透明若しくは吸収の少ない波長のレーザー光Lを出射するレーザー光源101を選定する(S203)。第2例においては、基本波長が1064nmであるパルス波(PW)型のYAGレーザーが選定されている。このYAGレーザーは、パルスの繰り返し周波数が20Hzであり、パルス幅が6nsであり、パルスエネルギーは300μJである。また、YAGレーザーから出射されるレーザー光Lのスポット径は、20μm程度である。

【0053】次に、切断対象材料の厚さを測定する(S205)。切断対象材料の厚さが測定されると、その測定結果に基づいて、レーザー光Lの集光点が切断対象材料の内部に位置するように、レーザー光Lの光軸方向における切断対象材料の表面(レーザー光Lの入射面)からのレーザー光Lの集光点の変位量(移動量)を決定する(S207)。レーザー光Lの集光点の変位量(移動量)は、切断対象材料の厚さ及び屈折率に対応して、たとえば切断対象材料の厚さの1/2の量に設定される。

【0054】図22に示されるように、実際のレーザー光Lの集光点Pの位置は、切断対象材料雰囲気(たとえば、空気)中の屈折率と切断対象材料の屈折率との違いにより、集光用レンズ105で集光されたレーザー光Lの集光点Qの位置よりも切断対象材料(圧電素子ウェハ31)の表面から深いところに位置するようになる。すなわち、空気中の場合、「レーザー光Lの光軸方向でのZ軸ステージ113の移動量×切断対象材料の屈折率=実際のレーザー光Lの集光点移動量」という関係が成り立つことになる。レーザー光Lの集光点の変位量(移動量)は、上述した関係(切断対象材料の厚さ及び屈折率)を考慮して設定される。その後、X-Y-Z軸ステージ(本実施形態においては、X軸ステージ109、Y軸ステージ111及びZ軸ステージ113により構成される)上に配置された載置台107に対してウェハシート33に保持された切断対象材料を載置する(S209)。切断対象材料の載置を終えると、観察用光源117から光を出射して、出射した光を切断対象材料に照射する。そして、撮像素子121での撮像結果に基づいて、レーザー光Lの集光点が切断対象材料の表面上に位置するようにZ軸ステージ113を移動させてフォーカス調整を行う

(S211)。ここでは、観察用光源117によって得られる圧電素子ウェハ31の表面観察像を撮像素子121により撮像し、撮像データ処理部125が、撮像結果に基づいて、観察用光源117から出射された光が切断対象材料の表面上で焦点を結ぶようにZ軸ステージ113の移動位置を決定し、ステージ制御部115に出力する。ステージ制御部115は、撮像データ処理部125からの出力信号に基づいて、Z軸ステージ113の移動位置が、観察用光源117から出射された光が切断対象材料の表面上に焦点を結ぶ、すなわちレーザー光Lの集光点を切断対象材料の表面上に位置させるための位置とな

【0055】観察用光源117から出射された光のフォーカス調整が終わると、レーザー光Lの集光点を切断対象材料の厚さ及び屈折率に対応した集光点に移動させる

(S213)。ここでは、切断対象材料の厚さ及び屈折率に対応して決定されたレーザー光Lの集光点の変位量分だけZ軸ステージ113をレーザー光Lの光軸方向に移動させるように、全体制御部127がステージ制御部115に出力信号を送り、出力信号を受けたステージ制御部115がZ軸ステージ113の移動位置を制御する。上述したように、切断対象材料の厚さ及び屈折率に対応して決定されたレーザー光Lの集光点の変位量分だけZ軸ステージ113をレーザー光Lの光軸方向に移動させることにより、レーザー光Lの集光点の切断対象材料の内部への配置が完了する(S215)。

【0056】レーザー光Lの集光点の切断対象材料の内部への配置が完了すると、レーザー光Lを切断対象材料に照射すると共に、所望の切断パターンにしたがってX軸ステージ109及びY軸ステージ111を移動させる(S217)。レーザー光源101から出射されたレーザー光Lは、図22に示されるように、集光用レンズ105により、隣接する回路部39の間に形成された所定の間隙α(上述したように、80μm)に臨む圧電素子ウェハ31の内部に集光点Pが位置するように集光される。上述した所望の切断パターンは、圧電素子ウェハ31から複数の圧電デバイスチップ37を分離するために、隣接する回路部39の間に形成された間隙にレーザー光Lが照射されるように設定されており、レーザー光Lの照射状態をモニタ129で確認しながらレーザー光Lが照射されることになる。

【0057】ここで、切断対象材料に照射されるレーザー光Lは、集光用レンズ105により、図22に示されるように、圧電素子ウェハ31の表面(レーザー光Lが入射する面)に形成された回路部39にレーザー光Lが照射されない角度で集光される。このように、回路部39にレーザー光Lが照射されない角度でレーザー光Lを集光することにより、レーザー光Lが回路部39に入射するのを防ぐことができ、回路部39をレーザー光Lから保護することができる。

【0058】レーザー光源101から出射されたレーザー光Lを、圧電素子ウェハ31の内部に集光点Pが位置するように集光させ、この集光点Pにおけるレーザー光Lのエネルギー密度が切断対象材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊のしきい値を越えると、切断対象材料としての圧電素子ウェハ31の内部における集光点P及びその近傍のみに微小なクラック領域9が形成される。このとき、切断対象材料(圧電素子ウェハ31)の表面及び裏面に損傷を及ぼすことはない。

【0059】次に、図23～図27に基づいて、レーザー光Lの集光点を移動させてクラックを形成する点につい

材料32（光透過性材料）に対して、切断対象材料32の内部にレーザ光Lの集光点が位置するようにレーザ光Lを照射することにより、図24及び図25に示されるように、切断対象材料32の内部における集光点及びその近傍のみに微小なクラック領域9が形成される。また、レーザ光Lの集光点がレーザ光Lの光軸に交差する切断対象材料32の長手方向Dに移動するように、レーザ光Lの走査あるいは切断対象材料32の移動が制御されている。

【0060】レーザ光源101からはレーザ光Lがパルス状に出射されることから、レーザ光Lの走査あるいは切断対象材料32の移動を行った場合、クラック領域9は、図25に示されるように、切断対象材料32の長手方向Dに沿ってレーザ光Lの走査速度あるいは切断対象材料32の移動速度に対応した間隔を有して複数のクラック領域9が形成されていくことになる。レーザ光Lの走査速度あるいは切断対象材料32の移動速度を遅くすることにより、図26に示されるように、クラック領域9間の間隔を短くして、形成されるクラック領域9の数を増やすことも可能である。また、レーザ光Lの走査速度あるいは切断対象材料の移動速度を更に遅くすることにより、図27に示されるように、クラック領域9が、レーザ光Lの走査方向あるいは切断対象材料32の移動方向、すなわちレーザ光Lの集光点の移動方向に沿って連続的に形成されることになる。クラック領域9間の間隔（形成されるクラック領域9の数）の調整は、レーザ光Lの繰り返し周波数及び切断対象材料32（X軸ステージあるいはY軸ステージ）の移動速度の関係を変化させることでも実現可能である。また、レーザ光Lの繰り返し周波数及び切断対象材料32の移動速度を高くすることでもスループットの向上も可能である。

【0061】上述した所望の切断パターンに沿ってクラック領域9が形成されると（S219）、物理的外力印加又は環境変化等により切断対象材料内、特にクラック領域9が形成された部分に応力を生じさせて、切断対象材料の内部（集光点及びその近傍）のみに形成されたクラック領域9を成長させて、切断対象材料をクラック領域9が形成された位置で切断する（S221）。

【0062】次に、図28～図32を参照して、物理的外力印加による切断対象材料の切断について説明する。まず、所望の切断パターンに沿ってクラック領域9が形成された切断対象材料（圧電素子ウェハ31）は、サンプルホルダ35に挟持されたウェハシート33に保持された状態で切断装置に配置される。切断装置は、後述するような吸引チャック34、この吸引チャック34が接続される吸引ポンプ（図示せず）、加圧ニードル36（押圧部材）、加圧ニードル36を移動させるための加圧ニードル駆動手段（図示せず）等を有している。加圧ニードル駆動手段としては、電動又は油圧等のアクチュ

においては、回路部39の図示を省略している。

【0063】圧電素子ウェハ31が切断装置に配置されると、図28に示されるように、分離する圧電デバイスチップ37に対応する位置に吸引チャック34を近づけていく。吸引チャック34を分離する圧電デバイスチップ37に近接もしくは当接させた状態で吸引ポンプ装置を作動させることにより、図29に示されるように、吸引チャック34に分離する圧電デバイスチップ37（圧電素子ウェハ31）を吸着させる。吸引チャック34に分離する圧電デバイスチップ37（圧電素子ウェハ31）を吸着させると、図30に示されるように、ウェハシート33の裏面（圧電素子ウェハ31が保持された面の裏面）側から分離する圧電デバイスチップ37に対応する位置に加圧ニードル36を移動させる。

【0064】加圧ニードル36がウェハシート33の裏面に当接してから更に加圧ニードル36を移動させると、ウェハシート33が変形すると共に加圧ニードル36により圧電素子ウェハ31に外部から応力を印加されて、クラック領域9が形成されているウェハ部分に応力が生じてクラック領域9が成長する。クラック領域9が圧電素子ウェハ31の表面及び裏面まで成長することにより、圧電素子ウェハ31は、図31に示されるように、分離する圧電デバイスチップ37の端部において切断されて、圧電デバイスチップ37が圧電素子ウェハ31から分離されることになる。なお、ウェハシート33は、上述したように粘着性を有しているため、切断分離された圧電デバイスチップ37が飛散するのを防ぐことができる。

【0065】圧電デバイスチップ37が圧電素子ウェハ31から分離されると吸引チャック34及び加圧ニードル36をウェハシート33から離れる方向に移動させる。吸引チャック34及び加圧ニードル36が移動すると、分離された圧電デバイスチップ37は吸引チャック34に吸着しているため、図32に示されるように、ウェハシート33から離れることになる。このとき、図示しないイオンエアブロー装置を用いて、イオンエアを図32中矢印B方向に送り、分離されて吸引チャック34に吸着している圧電デバイスチップ37と、ウェハシート33に保持されている圧電素子ウェハ31（表面）とをイオンエア洗浄している。なお、イオンエア洗浄の代わりに、吸引装置を設けて、塵等を吸引することで切断分離された圧電デバイスチップ37及び圧電素子ウェハ31の洗浄を行うようにしてもよい。環境変化により切断対象材料を切断する方法としては、内部のみにクラック領域9が形成された切断対象材料に対して温度変化を与える方法が存在する。このように、切断対象材料に対して温度変化を与えることにより、クラック領域9が形成されている材料部分に熱応力を生じさせて、クラック領域9を成長させて切断対象材料を切断す

【0066】このように、第2例においては、集光用レンズ105により、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lを、その集光点が光透過性材料（圧電素子ウェハ31）の内部に位置するように集光することで、集光点におけるレーザ光Lのエネルギー密度が光透過性材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊のしきい値を越え、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみに微小なクラック領域9が形成される。そして、形成されたクラック領域9の位置にて光透過性材料が切断されるので、発塵量が極めて低く、ダイシング傷、チップ10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

【0067】また、物理的外力印加又は環境変化等により切断対象材料内に応力を生じさせることにより、形成されたクラック領域9を成長させて光透過性材料（圧電素子ウェハ31）を切断するので、形成されたクラック領域9の位置にて光透過性材料を確実に切断することができる。

【0068】また、加圧ニードル36を用いて光透過性材料（圧電素子ウェハ31）に応力を加えることにより、クラック領域9を成長させて光透過性材料を切断しているの、形成されたクラック領域9の位置にて光透過性材料をより一層確実に切断することができる。

【0069】また、複数の回路部39が形成された圧電素子ウェハ31（光透過性材料）を各圧電デバイスチップ37毎に切断分離する場合、集光用レンズ105により、隣接する回路部39の間に形成された間隙に臨むウェハ部分の内部に集光点が位置するようにレーザ光Lを集光し、クラック領域9を形成させるので、隣接する回路部39の間に形成された間隙の位置において、圧電素子ウェハ31を確実に切断することができる。

【0070】また、光透過性材料（圧電素子ウェハ31）の移動あるいはレーザ光Lを走査して集光点をレーザ光Lの光軸に交差する方向、たとえば直交する方向に移動させることにより、クラック領域9が集光点の移動方向に沿って連続的に形成されることになり、切断の方向安定性がより一層向上して、切断の方向制御をより一層容易に行うことができる。

【0071】また、第2例においては、発塵粉体がほとんどないため発塵粉体の飛散防止のための潤滑洗浄水が

ことができる。

【0072】また、第2例においては、改質部（クラック領域9）の形成がレーザ光Lによる非接触加工にて実現されるため、ダイヤモンドカッタによるダイシングにおけるブレードの耐久性、交換頻度等の問題が生じることはない。また、第2例においては、上述したように、改質部（クラック領域9）の形成がレーザ光Lによる非接触加工にて実現されるため、光透過性材料を完全に切断しない、光透過性材料を切り抜くような切断パターンに沿って、光透過性材料を切断することが可能である。本発明は、前述した第2例に限定されるものではなく、たとえば、光透過性材料は圧電素子ウェハ31に限られることなく、半導体ウェハ、ガラス基板等であってもよい。レーザ光源101も、切断する光透過性材料の光吸収特性に対応して適宜選択可能である。また、第2例においては、改質部として、レーザ光Lを照射することにより微小なクラック領域9を形成するようにしているが、これに限られるものではない。たとえば、レーザ光源101として超短パルスレーザ光源（たとえば、フェムト秒（fs）レーザ）を用いることで、屈折率変化（高屈折率）による改質部を形成することができ、このような機械的特性の変化を利用してクラック領域9を発生させることなく光透過性材料を切断することができる。

【0073】また、レーザ加工装置100において、Z軸ステージ113を移動させることによりレーザ光Lのフォーカス調整を行うようにしているが、これに限られることなく、集光用レンズ105をレーザ光Lの光軸方向に移動させることによりフォーカス調整を行うようにしてもよい。

【0074】また、レーザ加工装置100において、所望の切断パターンにしたがってX軸ステージ109及びY軸ステージ111を移動するようにしているが、これに限られることなく、レーザ光Lを所望の切断パターンにしたがって走査するようにしてもよい。

【0075】また、吸引チャック34に圧電素子ウェハ31を吸着させた後に、加圧ニードル36により圧電素子ウェハ31を切断するようにしているが、これに限られることなく、加圧ニードル36により圧電素子ウェハ31を切断した後に、切断分離された圧電デバイスチップ37を吸引チャック34に吸着させるようにしてもよい。なお、吸引チャック34に圧電素子ウェハ31を吸着させた後に、加圧ニードル36により圧電素子ウェハ31を切断することにより、切断分離された圧電デバイスチップ37の表面が吸引チャック34にて覆われることになり、圧電デバイスチップ37の表面に塵等が付着するのを防ぐことができる。

【0076】また、撮像素子121として赤外線用のものを用いることにより、レーザ光Lの反射光を利用して

マイクロミラー103を用いる代わりにハーフミラーを用い、このハーフミラーとレーザー光源101との間にレーザー光源101への戻り光を抑制するような光学素子を配設する必要がある。なお、このとき、フォーカス調整を行うためのレーザー光Lにより切断対象材料にダメージが生じないように、フォーカス調整時にレーザー光源101から照射されるレーザー光Lの出力は、クラック形成のための出力よりも低いエネルギー値に設定ことが好ましい。

【0077】第2例の観点から本発明の特徴を以下に説明する。

【0078】本発明に係る光透過性材料の切断方法は、レーザー光源から出射したレーザー光を、その集光点が光透過性材料の内部に位置するように集光し、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみに改質部を形成させる改質部形成工程と、形成された改質部の位置にて光透過性材料を切断する切断工程と、を備えていることを特徴としている。

【0079】本発明に係る光透過性材料の切断方法では、改質部形成工程において、レーザー光の集光点が光透過性材料の内部に位置するようにレーザー光を集光することで、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみに改質部が形成される。切断工程では、形成された改質部の位置にて光透過性材料が切断されることになり、発塵量が極めて低く、ダイシング傷、チップングあるいは材料表面でのクラック等が発生する可能性も極めて低くなる。また、光透過性材料は、形成された改質部の位置で切断されるので、切断の方向安定性が向上し、切断方向の制御を容易に行うことができる。また、ダイヤモンドカッタによるダイシングに比して、ダイシング幅を小さくすることができ、1つの光透過性材料から切断された光透過性材料の数を増やすことが可能となる。これらの結果、本発明によれば、極めて容易且つ適切に光透過性材料を切断することができる。

【0080】また、本発明に係る光透過性材料の切断方法においては、発塵粉体がほとんどないため、発塵粉体の飛散防止のための潤滑洗浄水が不要となり、切断工程でのドライプロセス化を実現することができる。

【0081】また、本発明に係る光透過性材料の切断方法においては、改質部の形成がレーザー光による非接触加工にて実現されるため、従来の技術のようにダイヤモンドカッタによるダイシングにおけるブレードの耐久性、交換頻度等の問題が生じることはない。また、本発明に係る光透過性材料の切断方法においては、上述したように改質部の形成がレーザー光による非接触加工にて実現されるため、光透過性材料を完全に切断しない、光透過性材料を切り抜くような切断パターンに沿って、光透過性材料を切断することが可能である。

【0082】また、光透過性材料には、複数の回路部が

回路部の間に形成された間隙に臨む光透過性材料部分の内部に集光点が位置するようにレーザー光を集光し、改質部を形成させることが好ましい。このように構成した場合には、隣接する回路部の間に形成された間隙の位置において、光透過性材料を確実に切断することができる。

【0083】また、改質部形成工程において、光透過性材料にレーザー光を照射する場合に、回路部にレーザー光が照射されない角度でレーザー光を集光することが好ましい。このように、改質部形成工程において、光透過性材料にレーザー光を照射する場合に、回路部にレーザー光が照射されない角度でレーザー光を集光することにより、レーザー光が回路部に入射するのを防ぐことができ、回路部をレーザー光から保護することができる。

【0084】また、改質部形成工程において、集光点をレーザー光の光軸と交差する方向に移動させることにより、改質部を集光点の移動方向に沿って連続的に形成することが好ましい。このように、改質部形成工程において、集光点をレーザー光の光軸と交差する方向に移動させることにより、改質部を集光点の移動方向に沿って連続的に形成することで、切断の方向安定性がより一層向上して、切断の方向制御をより一層容易に行うことができる。

【0085】本発明に係る光透過性材料の切断方法は、レーザー光源から出射したレーザー光を、その集光点が光透過性材料の内部に位置するように集光し、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみにクラックを形成させるクラック形成工程と、形成されたクラックの位置にて光透過性材料を切断する切断工程と、を備えていることを特徴としている。

【0086】本発明に係る光透過性材料の切断方法では、クラック形成工程において、レーザー光の集光点が光透過性材料の内部に位置するようにレーザー光を集光することで、集光点におけるレーザー光のエネルギー密度が光透過性材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊のしきい値を越え、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみにクラックが形成される。切断工程では、形成されたクラックの位置にて光透過性材料が切断されることになり、発塵量が極めて低く、ダイシング傷、チップングあるいは材料表面でのクラック等が発生する可能性も極めて低くなる。また、光透過性材料は、光透過性材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊により形成されたクラックに沿って切断されるので、切断の方向安定性が向上し、切断方向の制御を容易に行うことができる。また、ダイヤモンドカッタによるダイシングに比して、ダイシング幅を小さくすることができ、1つの光透過性材料から切断された光透過性材料の数を増やすことが可能となる。これらの結果、本発明によれば、極めて容易且つ適切に光透過性材料を切断することができる。

【0087】また、本発明に係る光透過性材料の切断方

の飛散防止のための潤滑洗浄水が不要となり、切断工程でのドライブプロセス化を実現することができる。

【0088】また、本発明に係る光透過性材料の切断方法においては、クラックの形成がレーザ光による非接触加工にて実現されるため、従来の技術のようにダイヤモンドカッタによるダイシングにおけるブレードの耐久性、交換頻度等の問題が生じることはない。また、本発明に係る光透過性材料の切断方法においては、上述したようにクラックの形成がレーザ光による非接触加工にて実現されるため、光透過性材料を完全に切断しない、光透過性材料を切り抜くような切断パターンに沿って、光透過性材料を切断することが可能である。

【0089】また、切断工程において、形成されたクラックを成長させることにより光透過性材料を切断することが好ましい。このように、切断工程において、形成されたクラックを成長させることにより光透過性材料を切断することにより、形成されたクラックの位置にて光透過性材料を確実に切断することができる。

【0090】また、切断工程において、押圧部材を用い、光透過性材料に応力を加えることにより、クラックを成長させて光透過性材料を切断することが好ましい。このように、切断工程において、押圧部材を用い、光透過性材料に応力を加えることにより、クラックを成長させて光透過性材料を切断することにより、クラックの位置にて光透過性材料をより一層確実に切断することができる。

【0091】本発明に係る光透過性材料の切断装置は、レーザ光源と、光透過性材料を保持する保持手段と、レーザ光源から出射されたレーザ光を、その集光点が光透過性材料の内部に位置するように集光させる光学素子と、光透過性材料の内部におけるレーザ光の集光点及びその近傍のみに形成された改質部の位置にて光透過性材料を切断する切断手段と、を備えたことを特徴としている。

【0092】本発明に係る光透過性材料の切断装置では、光学素子により、レーザ光の集光点が光透過性材料の内部に位置するようにレーザ光が集光されることで、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみに改質部が形成される。そして、切断手段が、光透過性材料の内部におけるレーザ光の集光点及びその近傍のみに形成される改質部の位置で光透過性材料を切断するので、光透過性材料は、形成された改質部に沿って確実に切断されることになり、発塵量が極めて低く、ダイシング傷、チッピングあるいは材料表面でのクラック等が発生する可能性も極めて低くなる。また、光透過性材料は、改質部に沿って切断されるので、切断の方向安定性が向上し、切断方向の制御を容易に行うことができる。また、ダイヤモンドカッタによるダイシングに比して、ダイシング幅を小さくすることができ、1つの光透過性

能となる。これらの結果、本発明によれば、極めて容易且つ適切に光透過性材料を切断することができる。

【0093】また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、発塵粉体がほとんどないため、発塵粉体の飛散防止のための潤滑洗浄水が不要となり、切断工程でのドライブプロセス化を実現することができる。

【0094】また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、改質部がレーザ光による非接触加工にて形成されるため、従来の技術のようにダイヤモンドカッタによるダイシングにおけるブレードの耐久性、交換頻度等の問題が生じることはない。また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、上述したように改質部がレーザ光による非接触加工にて形成されるため、光透過性材料を完全に切断しない、光透過性材料を切り抜くような切断パターンに沿って、光透過性材料を切断することが可能である。

【0095】本発明に係る光透過性材料の切断装置は、レーザ光源と、光透過性材料を保持する保持手段と、レーザ光源から出射されたレーザ光を、その集光点が光透過性材料の内部に位置するように集光させる光学素子と、光透過性材料の内部におけるレーザ光の集光点及びその近傍のみに形成されるクラックを成長させて光透過性材料を切断する切断手段と、を備えたことを特徴としている。

【0096】本発明に係る光透過性材料の切断装置では、光学素子により、レーザ光の集光点が光透過性材料の内部に位置するようにレーザ光が集光されることで、集光点におけるレーザ光のエネルギー密度が光透過性材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊のしきい値を越え、光透過性材料の内部における集光点及びその近傍のみにクラックが形成される。そして、切断手段が、光透過性材料の内部におけるレーザ光の集光点及びその近傍のみに形成されるクラックを成長させて光透過性材料を切断するので、光透過性材料は、光透過性材料の光学的損傷若しくは光学的絶縁破壊により形成されたクラックに沿って確実に切断されることになり、発塵量が極めて低く、ダイシング傷、チッピングあるいは材料表面でのクラック等が発生する可能性も極めて低くなる。また、光透過性材料は、クラックに沿って切断されるので、切断の方向安定性が向上し、切断方向の制御を容易に行うことができる。また、ダイヤモンドカッタによるダイシングに比して、ダイシング幅を小さくすることができ、1つの光透過性材料から切断された光透過性材料の数を増やすことが可能となる。これらの結果、本発明によれば、極めて容易且つ適切に光透過性材料を切断することができる。

【0097】また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、発塵粉体がほとんどないため、発塵粉体の飛散防止のための潤滑洗浄水が不要となり、切断工程

【0098】また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、クラックがレーザー光による非接触加工にて形成されるため、従来の技術のようにダイヤモンドカッタによるダイシングにおけるブレードの耐久性、交換頻度等の問題が生じることはない。また、本発明に係る光透過性材料の切断装置においては、上述したようにクラックがレーザー光による非接触加工にて形成されるため、光透過性材料を完全に切断しない、光透過性材料を切り抜くような切断パターンに沿って、光透過性材料を切断することが可能である。

【0099】また、切断手段は、光透過性材料に応力を印加するための押圧部材を有していることが好ましい。このように、切断手段が光透過性材料に応力を印加するための押圧部材を有することにより、この押圧部材により光透過性材料に応力を印加してクラックを成長させることが可能となり、形成されたクラックの位置において光透過性材料をより一層確実に切断することができる。

【0100】また、光透過性材料は、その表面に複数の回路部が形成された光透過性材料であって、光学素子は、隣接する回路部の間に形成された間隙に臨む光透過性材料部分の内部に集光点が位置するようにレーザー光を集光することが好ましい。このように構成した場合、隣接する回路部の間に形成された間隙の位置において、光透過性材料を確実に切断することができる。

【0101】また、光学素子は、回路部にレーザー光が照射されない角度でレーザー光を集光することが好ましい。このように、光学素子が回路部にレーザー光が照射されない角度でレーザー光を集光することにより、レーザー光が回路部に入射するのを防ぐことができ、回路部をレーザー光から保護することができる。

【0102】また、集光点をレーザー光の光軸と交差する方向に移動させるための集光点移動手段を更に備えていることが好ましい。このように、集光点をレーザー光の光軸と交差する方向に移動させるための集光点移動手段を更に備えることにより、クラックを集光点の移動方向に沿って連続的に形成することが可能となり、切断の方向安定性がより一層向上して、切断の方向制御をより一層容易に行うことができる。

【0103】

【発明の効果】本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の表面に溶融や切断予定ラインから外れた割れが生じることなく、加工対象物を切断することができる。よって、加工対象物を切断することにより作製される製品（例えば、半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置）の歩留まりや生産性を向上させることができる。

【0104】また、レーザー光の照射により改質領域が内部に形成された加工対象物に対し応力を与えて、該加工対象物を切断分離することができる。

【図1】本実施形態に係るレーザー加工方法によってレーザー加工中の加工対象物の平面図である。

【図2】図1に示す加工対象物のI-I線に沿った断面図である。

【図3】本実施形態に係るレーザー加工方法によるレーザー加工後の加工対象物の平面図である。

【図4】図3に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

【図5】図3に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

【図6】本実施形態に係るレーザー加工方法によって切断された加工対象物の平面図である。

【図7】本実施形態に係るレーザー加工方法における電界強度とクラックの大きさとの関係を示すグラフである。

【図8】本実施形態に係るレーザー加工方法の第1工程における加工対象物の断面図である。

【図9】本実施形態に係るレーザー加工方法の第2工程における加工対象物の断面図である。

【図10】本実施形態に係るレーザー加工方法の第3工程における加工対象物の断面図である。

【図11】本実施形態に係るレーザー加工方法の第4工程における加工対象物の断面図である。

【図12】本実施形態に係るレーザー加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【図13】本実施形態に係るレーザー加工方法におけるレーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【図14】本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法に使用できるレーザー加工装置の概略構成図である。

【図15】本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法を説明するためのフローチャートである。

【図16】本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法により切断可能なパターンを説明するための加工対象物の平面図である。

【図17】レーザー光源が複数に関する本実施形態の第1例に係るレーザー加工方法を説明する模式図である。

【図18】レーザー光源が複数に関する本実施形態の第1例に係る他のレーザー加工方法を説明する模式図である。

【図19】本実施形態の第2例において、ウェハシートに保持された状態の圧電素子ウェハを示す概略平面図である。

【図20】本実施形態の第2例において、ウェハシートに保持された状態の圧電素子ウェハを示す概略断面図である。

【図21】本実施形態の第2例に係る切断方法を説明するためのフローチャートである。

【図22】本実施形態の第2例に係る切断方法によりレーザー光が照射されている光透過性材料の断面図である。

ーザ光が照射された光透過性材料の平面図である。

【図24】図23に示す光透過性材料のXXIV-XXIV線に沿った断面図である。

【図25】図23に示す光透過性材料のXXV-XXV線に沿った断面図である。

【図26】集光点の移動速度を遅くした場合における図23に示す光透過性材料のXXV-XXV線に沿った断面図である。

【図27】集光点の移動速度をさらに遅くした場合における図23に示す光透過性材料のXXV-XXV線に沿った断面図である。

【図28】本実施形態の第2例に係る切断方法の第1工程を示す圧電素子ウェハ等の断面図である。

【図29】本実施形態の第2例に係る切断方法の第2工程を示す圧電素子ウェハ等の断面図である。

【図30】本実施形態の第2例に係る切断方法の第3工

程を示す圧電素子ウェハ等の断面図である。

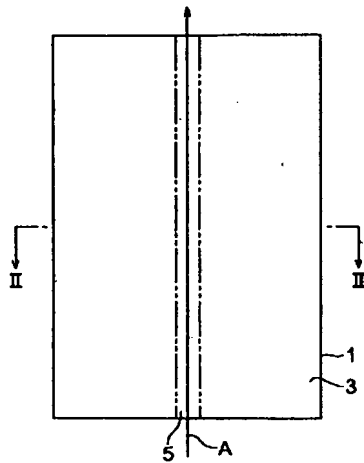
【図31】本実施形態の第2例に係る切断方法の第4工程を示す圧電素子ウェハ等の断面図である。

【図32】本実施形態の第2例に係る切断方法の第5工程を示す圧電素子ウェハ等の断面図である。

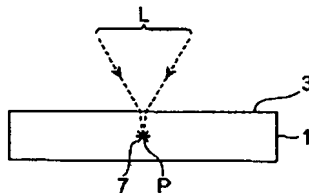
【符号の説明】

1・・・加工対象物、3・・・表面、5・・・切断予定ライン、7・・・改質領域、9・・・クラック領域、11・・・シリコンウェハ、13・・・溶融処理領域、15、17、19、23・・・レーザー光源、25、27、29・・・アレイ光源部、31・・・圧電素子ウェハ、37・・・圧電デバイスチップ、100・・・レーザー加工装置、101・・・レーザー光源、105・・・集光用レンズ、109・・・X軸ステージ、111・・・Y軸ステージ、113・・・Z軸ステージ、P・・・集光点

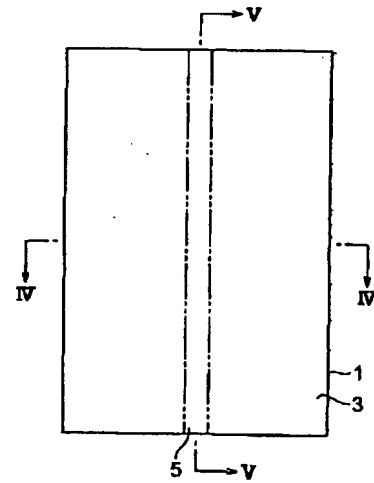
【図1】



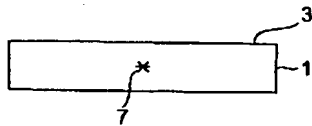
【図2】



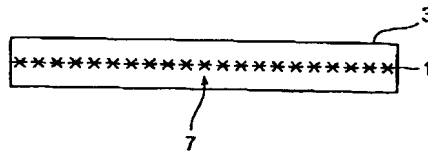
【図3】



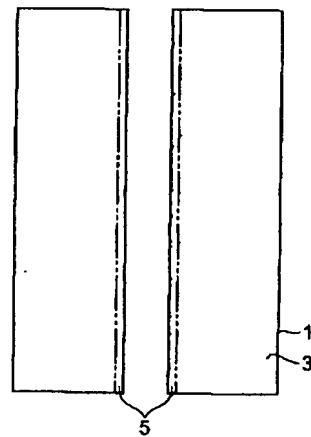
【図4】



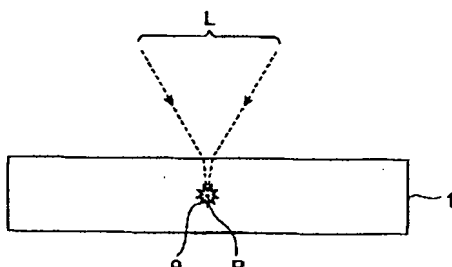
【図5】



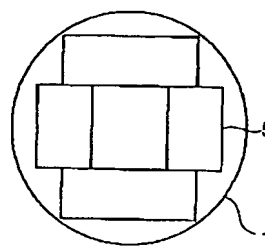
【図6】



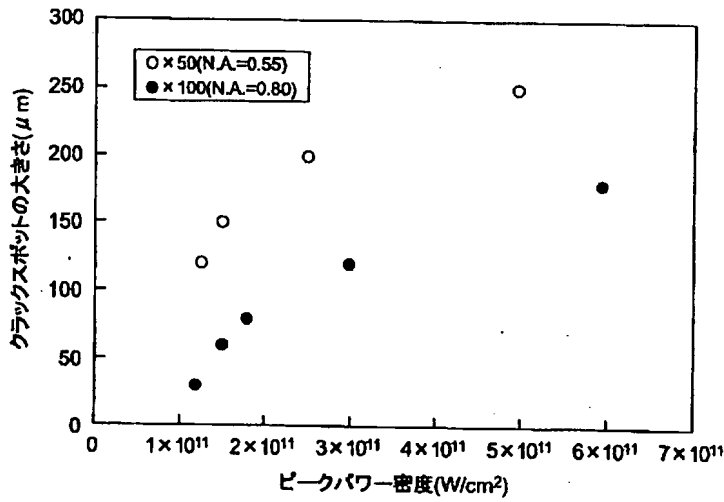
【図8】



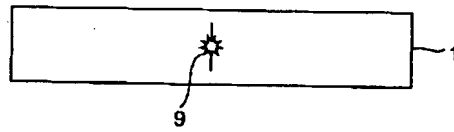
【図16】



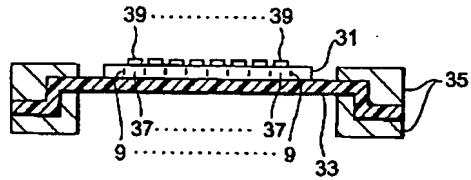
【図7】



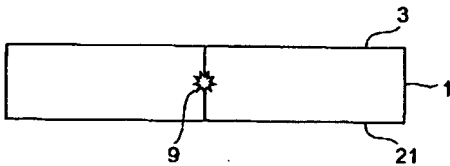
【図9】



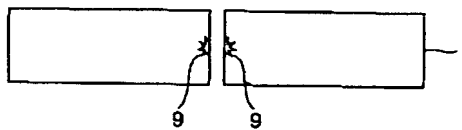
【図20】



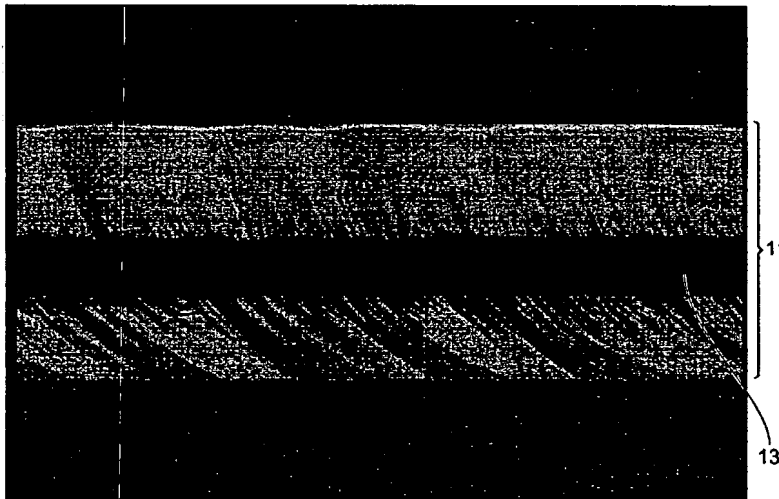
【図10】



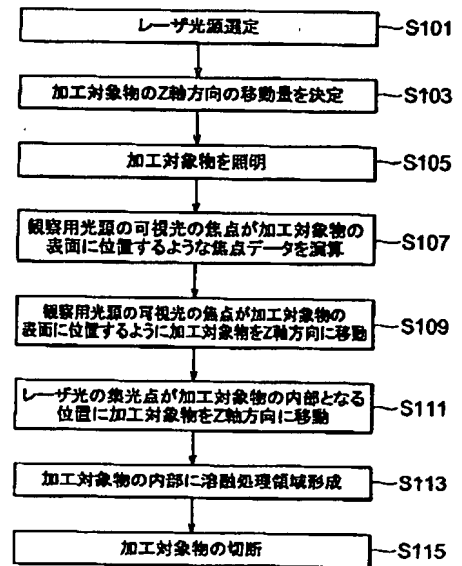
【図11】



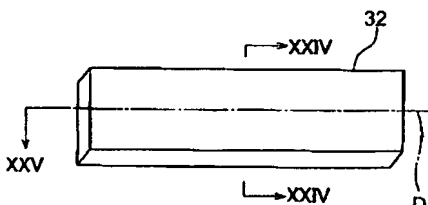
【図12】



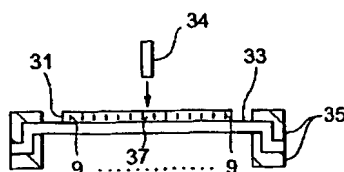
【図15】



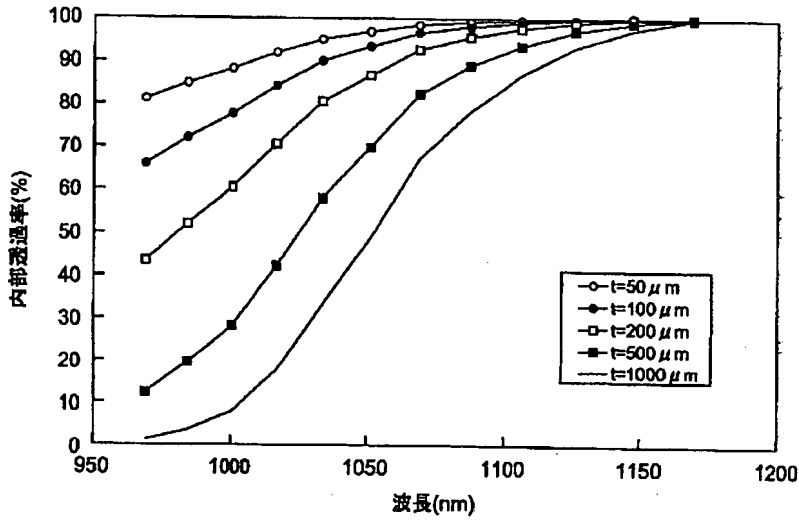
【図23】



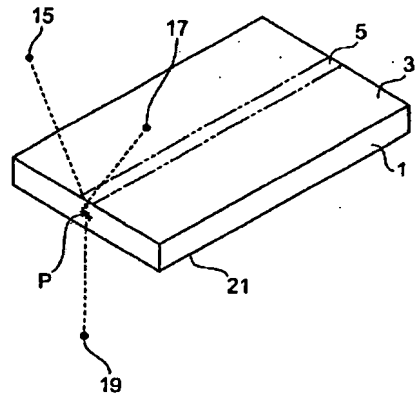
【図28】



【図13】

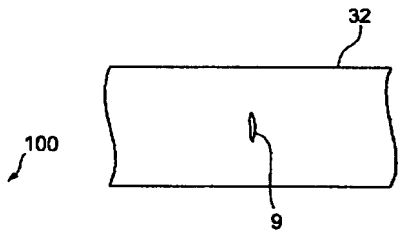
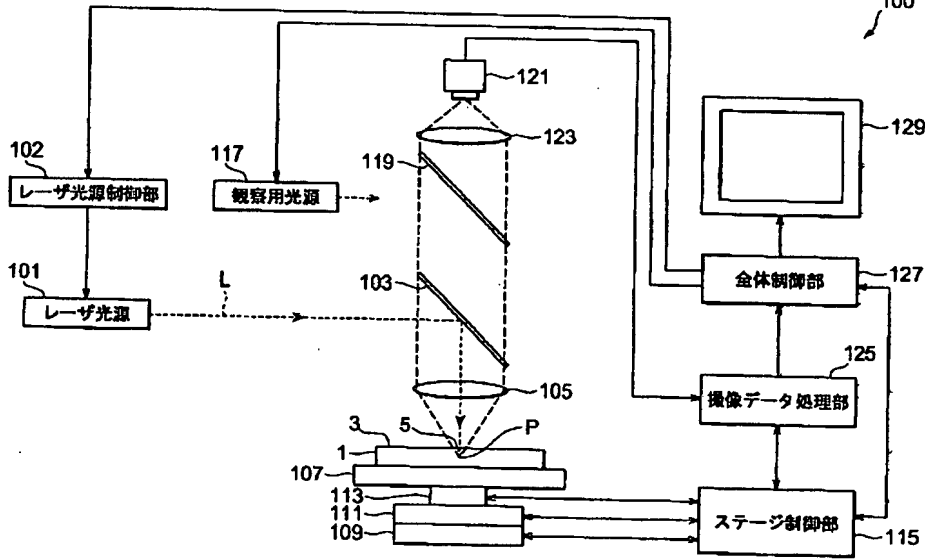


【図17】

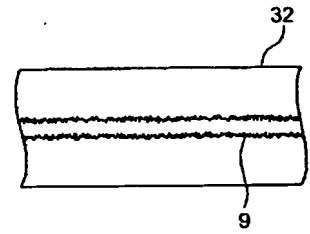


【図24】

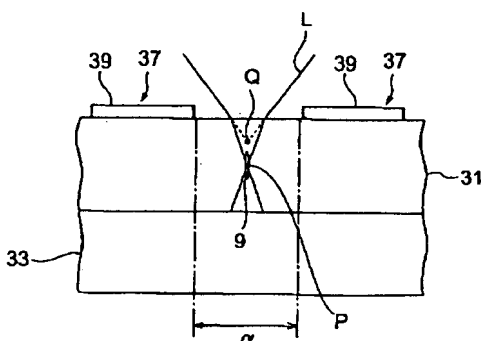
【図14】



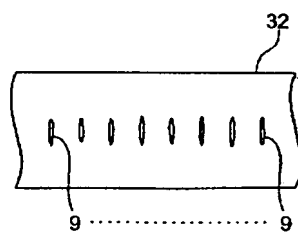
【図27】



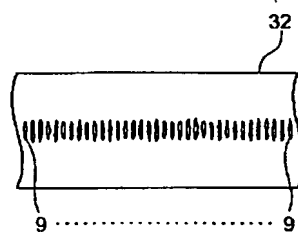
【図22】



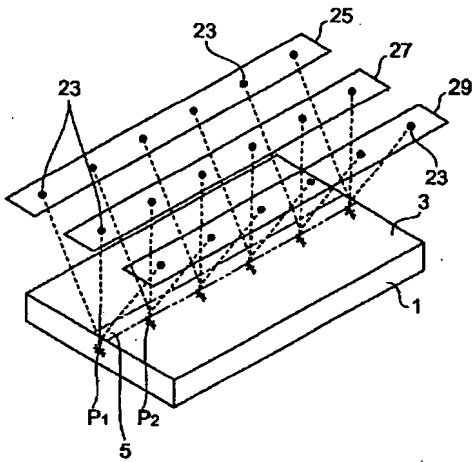
【図25】



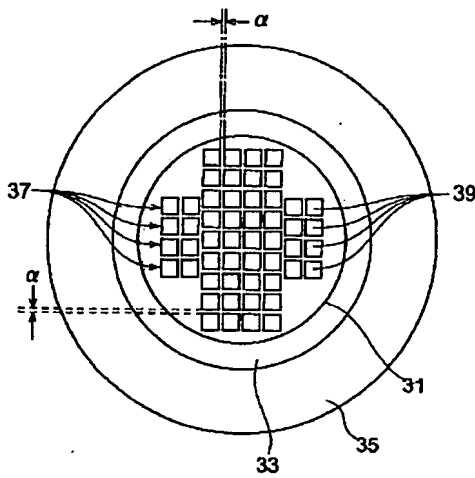
【図26】



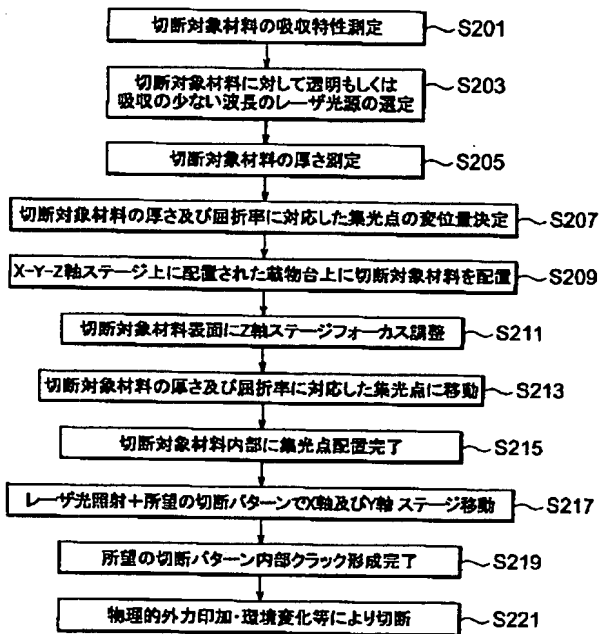
【図18】



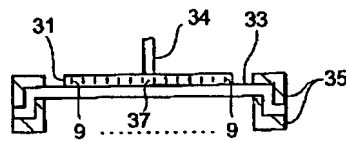
【図19】



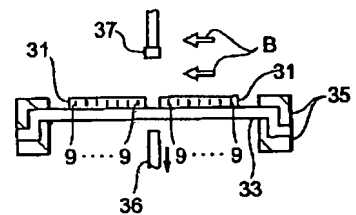
【図21】



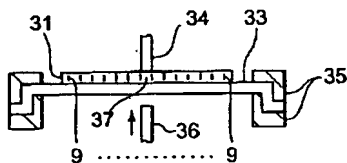
【図29】



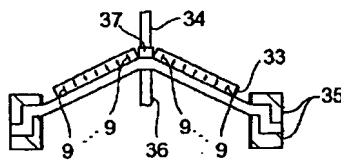
【図32】



【図30】



【図31】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーム (参考)

H O 1 L 21/301

B 2 3 K 101:40

// B 2 3 K 101:40

H O 1 L 21/78

B

(72)発明者 内山 直己

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

(72)発明者 和久田 敏光

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

Fターム (参考) 3C069 AA03 BA08 BC02 CA05 EA05

4E068 AA01 AD01 AE01 CA11 DA10

DB11

4G015 FA03 FA04 FC07

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-047290

(43)Date of publication of application : 24.02.2005

(51)Int.Cl. B28D 5/00
 B23K 26/06
 B23K 26/08
 B23K 26/38
 B23K 26/40
 H01L 21/301

(21)Application number : 2004-318326 (71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 01.11.2004 (72)Inventor : FUKUYO FUMITSUGU
 FUKUMITSU KENJI
 UCHIYAMA NAOKI
 WAKUTA TOSHIMITSU

(30)Priority

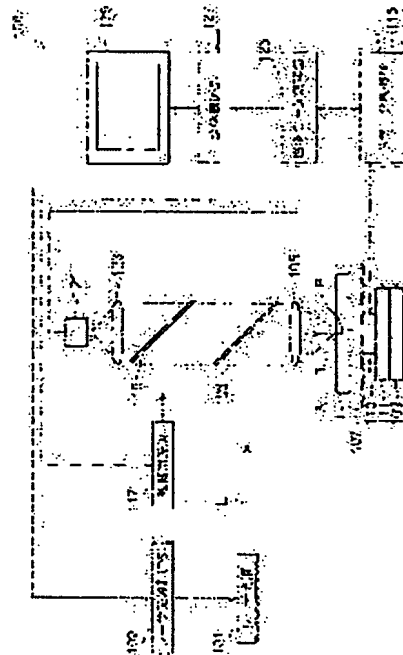
Priority number : 2000278306 Priority date : 13.09.2000 Priority country : JP

(54) LASER MACHINING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser machining device which can form a modified domain inside a working object.

SOLUTION: A laser machining device 100 comprises a loading stand 107 to lay the working object 1, a laser light source 101 to launch a laser beam, a condenser 105 which focuses a laser beam L inside the working object 1 laid on the loading stand 107 so as to form the modified domain at its location of a focusing point P, and control units 115, 127 to control movements of the loading stand 107. The control units 115, 127 relocate the loading stand 107 by a first distance from a predetermined position to have the focusing point P located inside the working object 1, and move the loading stand 107 so that the focusing point P migrates along a scheduled cutting line 5. The control units 115, 127 thereafter relocate the loading stand 107 by a second distance from the predetermined position to have the focusing point P located inside the working object 1, and move the loading stand 107 so that the focusing point P migrates along the scheduled cutting line 5.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.09.2005

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3751970

[Date of registration] 16.12.2005

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection] 2005-019413

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection] 06.10.2005

[Date of extinction of right]

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、
 前記加工対象物が載置される載置台と、
 レーザ光を出射するレーザ光源と、
 前記載置台に載置された前記加工対象物の内部に、前記レーザ光源から出射されたレーザ光を集光し、そのレーザ光の集光点の位置で改質領域を形成させる集光用レンズと、
 前記載置台の移動を制御する制御部とを備え、
 前記制御部は、

レーザ光の集光点が前記加工対象物の内部に位置するように、所定の位置を基準として 10
 前記加工対象物の厚さ方向に第 1 移動量だけ前記載置台を移動させ、レーザ光の集光点が
 前記加工対象物の切断予定ラインに沿って移動するように、前記加工対象物の厚さ方向と
 直交する方向に前記載置台を移動させた後、

レーザ光の集光点が前記加工対象物の内部に位置するように、前記所定の位置を基準と
 して前記加工対象物の厚さ方向に第 2 移動量だけ前記載置台を移動させ、レーザ光の集光
 点が前記切断予定ラインに沿って移動するように、前記加工対象物の厚さ方向と直交する
 方向に前記載置台を移動させることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項 2】

前記制御部は、少なくとも前記加工対象物の厚さ及び屈折率に基づいて前記第 1 移動量
 及び前記第 2 移動量を決定することを特徴とする請求項 1 記載のレーザ加工装置。 20

【請求項 3】

前記所定の位置は、前記載置台に載置された前記加工対象物の表面に所定の可視光の焦
 点が位置する際の前記載置台の位置であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のレーザ
 加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体材料基板、圧電材料基板やガラス基板等の加工対象物の切断に使用さ
 れるレーザ加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザ応用の一つに切断があり、レーザによる一般的な切断は次の通りである。例えば
 半導体ウェハやガラス基板のような加工対象物の切断する箇所、加工対象物が吸収する
 波長のレーザ光を照射し、レーザ光の吸収により切断する箇所において加工対象物の表面
 から裏面に向けて加熱溶解を進行させて加工対象物を切断する。しかし、この方法では加
 工対象物の表面のうち切断する箇所となる領域周辺も溶解される。よって、加工対象物が
 半導体ウェハの場合、半導体ウェハの表面に形成された半導体素子のうち、上記領域付近
 に位置する半導体素子が溶解する恐れがある。

【0003】

加工対象物の表面の溶解を防止する方法として、例えば、特許文献 1 や特許文献 2 に開 40
 示されたレーザによる切断方法がある。これらの公報の切断方法では、加工対象物の切断
 する箇所をレーザ光により加熱し、そして加工対象物を冷却することにより、加工対象物
 の切断する箇所に熱衝撃を生じさせて加工対象物を切断する。

【特許文献 1】特開 2000-219528 号公報

【特許文献 2】特開 2000-15467 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上述した特許文献 1、2 に開示された切断方法では、加工対象物に生じる熱衝
 撃が大きい。加工対象物の表面に切断予定ラインに沿って照射して、

ない先の箇所までの割れ等の不必要な割れが発生することがある。よって、これらの切断方法では精密切断をすることができない。特に、加工対象物が半導体ウェハ、液晶表示装置が形成されたガラス基板や電極パターンが形成されたガラス基板の場合、この不必要な割れにより半導体チップ、液晶表示装置や電極パターンが損傷することがある。また、これらの切断方法では平均入力エネルギーが大きいので、半導体チップ等に与える熱的ダメージも大きい。

【0005】

本発明の目的は、加工対象物の表面に不必要な割れを発生させることなくかつその表面が溶融しないレーザ加工方法を実施することができるレーザ加工装置を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係るレーザ加工装置は、加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、加工対象物が載置される載置台と、レーザ光を出射するレーザ光源と、載置台上に載置された加工対象物の内部に、レーザ光源から出射されたレーザ光を集光し、そのレーザ光の集光点の位置で改質領域を形成させる集光用レンズと、載置台の移動を制御する制御部とを備え、制御部は、レーザ光の集光点が加工対象物の内部に位置するように、所定の位置を基準として加工対象物の厚さ方向に第1移動量だけ載置台を移動させ、レーザ光の集光点が加工対象物の切断予定ラインに沿って移動するように、加工対象物の厚さ方向と直交する方向に載置台を移動させた後、レーザ光の集光点が加工対象物の内部に位置するように、所定の位置を基準として加工対象物の厚さ方向に第2移動量だけ載置台を移動させ、レーザ光の集光点が切断予定ラインに沿って移動するように、加工対象物の厚さ方向と直交する方向に載置台を移動させることを特徴とする。

20

【0007】

本発明に係るレーザ加工装置によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、加工対象物の内部に改質領域を形成することができる。加工対象物の切断する箇所に何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。本発明に係るレーザ加工装置によれば、改質領域を起点として切断予定ラインに沿って加工対象物が割れることにより、加工対象物を切断することができる。よって、比較的小さな力で加工対象物を切断することができるので、加工対象物の表面に切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物の切断が可能となる。なお、集光点とはレーザ光が集光した箇所のことである。切断予定ラインは加工対象物の表面や内部に実際に引かれた線でもよいし、仮想の線でもよい。

30

【0008】

また、本発明に係るレーザ加工装置によれば、加工対象物の内部に改質領域を形成している。よって、加工対象物の表面ではレーザ光がほとんど吸収されないので、加工対象物の表面が溶融することはない。

【0009】

また、本発明に係るレーザ加工装置によれば、加工対象物に照射されるレーザ光の加工対象物への入射方向におけるレーザ光の集光点の位置を変えることにより、改質領域を入射方向に沿って並ぶように複数形成することができる。このため、加工対象物を切断する際に起点となる箇所を増やすことができる。

40

【0010】

本発明に係るレーザ加工装置においては、制御部は、少なくとも加工対象物の厚さ及び屈折率に基づいて第1移動量及び第2移動量を決定することが好ましい。さらに、本発明に係るレーザ加工装置においては、所定の位置は、載置台上に載置された加工対象物の表面に所定の可視光の焦点が位置する際の載置台の位置であることが好ましい。これらにより、改質領域をレーザ光の入射方向に沿って並ぶように加工対象物の内部に確実に複数形成することができる。

【発明の効果】

50

【0011】

本発明に係るレーザ加工装置によれば、加工対象物の表面に溶融や切断予定ラインから外れた割れが生じることなく、加工対象物を切断することができる。よって、加工対象物を切断することにより作製される製品（例えば、半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置）の歩留まりや生産性を向上させることができる。

【0012】

また、本発明に係るレーザ加工装置によれば、複数の改質領域を形成することにより加工対象物を切断する際の起点となる箇所を増やすことができる。従って、加工対象物の厚みが比較的大きい場合等においても、加工対象物の切断が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0013】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて説明する。本実施形態に係るレーザ加工方法は、多光子吸収により改質領域を形成している。多光子吸収はレーザ光の強度を非常に大きくした場合に発生する現象である。まず、多光子吸収について簡単に説明する。

【0014】

材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_G$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_G$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$ である) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

20

【0015】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について図1～図6を用いて説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のI-I線に沿った断面図であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

30

【0016】

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

【0017】

レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち矢印A方向に沿って)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

40

【0018】

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができ

50

。よって、加工対象物 1 の表面 3 に不必要な割れを発生させることなく加工対象物 1 の切断が可能となる。

【0019】

なお、改質領域を起点とした加工対象物の切断は、次の二通りが考えられる。一つは、改質領域形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、改質領域を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚みが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の一つは、改質領域を形成することにより、改質領域を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚みが小さい場合、改質領域が1つでも可能であり、加工対象物の厚みが大きい場合、厚さ方向に複数の改質領域を形成することで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所の表面上において、改質領域が形成されていない部分まで割れが先走ることがなく、改質部を形成した部分のみを割断することができるので、割断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の半導体ウェハの厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい割断方法は大変有効である。

【0020】

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域として、次の(1)～(3)がある。

【0021】

(1) 改質領域が一つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

レーザー光を加工対象物（例えばガラスやLiTaO₃からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上でかつパルス幅が1μs以下の条件で照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザー熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

【0022】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

【0023】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ700μm）

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd：YAGレーザー

波長：1064nm

レーザー光スポット断面積： 3.14×10^{-8} cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100kHz

パルス幅：30ns

出力：出力<1mJ/パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率：0.95

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0024】

なお、レーザ光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0025】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が10¹¹（W/cm²）程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなること分かる。

【0026】

次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は一つ又は複数のクラックを含む領域である。図9に示すようにクラック領域9を起点としてクラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面21に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0027】

(2) 改質領域が溶融処理領域の場合

レーザ光を加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が1×10⁸（W/cm²）以上でかつパルス幅が1μs以下の条件で照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に溶融処理領域が形成される。溶融処理領域とは一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくともいずれか一つを意味する。また、溶融処理領域は相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。なお、電界強度の上限値としては、例えば1×10¹²（W/cm²）である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。

【0028】

本発明者は、シリコンウェハの内部で溶融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は下記の通りである。

【0029】

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ350μm、外径4インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd：YAGレーザ

波長：1064nm

レーザ光スポット断面積：3.14×10⁻⁸cm²

照射形態：パルス照射

10

20

30

40

50

繰り返し周波数：100 kHz
 パルス幅：30 ns
 出力：20 μ J / パルス
 レーザ光品質：TEM₀₀
 偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50倍

NA：0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm / 秒

10

【0030】

図12は上記条件でのレーザー加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域の厚さ方向の大きさは100 μ m程度である。

【0031】

熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚み t が50 μ m、100 μ m、200 μ m、500 μ m、1000 μ mの各々について上記関係を示した。

20

【0032】

例えば、Nd:YAGレーザーの波長である1064 nmにおいて、シリコン基板の厚みが500 μ m以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザー光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350 μ mであるので、多光子吸収による熔融処理領域はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から175 μ mの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200 μ mのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザー光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザー光が吸収されて、熔融処理領域がシリコンウェハ11の内部に形成（つまりレーザー光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集（2000年4月）の第72頁～第73頁の「ピコ秒パルスレーザーによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

30

【0033】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面に到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。なお、熔融処理領域からシリコンウェハの表面と裏面に割れが自然に成長するのは、一旦熔融後再固化した状態となった領域から割れが成長する場合、熔融状態の領域から割れが成長する場合及び熔融から再固化する状態の領域から割れが成長する場合のうち少なくともいずれか一つである。いずれの場合も切断後の切断面は図12に示すように内部にのみ熔融処理領域が形成される。加工対象物の内部に熔融処理領域を形成する場合、切断時、切断予定ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

40

【0034】

(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

レーザー光を加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上でかつパルス幅が1 ns以下の条件で照射する。

50

によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば 1 ns 以下が好ましく、1 ps 以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第 42 回レーザ熱加工研究会論文集 (1997 年、11 月) の第 105 頁～第 111 頁の「フェムト秒レーザ照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0035】

以上のように本実施形態によれば、改質領域を多光子吸収により形成している。そして、本実施形態は加工対象物に照射されるレーザ光の加工対象物への入射方向におけるレーザ光の集光点の位置を変えることにより、改質領域を入射方向に沿って並ぶように複数形成している。

10

【0036】

複数の改質領域形成についてクラック領域を例に説明する。図 14 は、本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物 1 の内部に二つのクラック領域 9 が形成された加工対象物 1 の斜視図である。

【0037】

二つクラック領域 9 形成方法について簡単に説明する。まず、パルスレーザ光 L の集光点を加工対象物 1 の内部の裏面 21 付近に合わせ、切断予定ライン 5 に沿って集光点を移動させながら加工対象物 1 にパルスレーザ光 L を照射する。これにより、クラック領域 9 (9A) が切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の内部の裏面 21 付近に形成される。次に、パルスレーザ光 L の集光点を加工対象物 1 の内部の表面 3 付近に合わせ、切断予定ライン 5 に沿って集光点を移動させながら加工対象物 1 にパルスレーザ光 L を照射する。この照射により、クラック領域 9 (9B) が切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の内部の表面 3 付近に形成される。

20

【0038】

そして、図 15 に示すように、クラック領域 9A、9B からクラック 91 が自然に成長する。詳しくはクラック 91 が、クラック領域 9A から裏面 21 方向、クラック領域 9A (9B) からクラック領域 9B (9A) 方向、クラック領域 9B から表面 3 方向にそれぞれ自然に成長する。これにより、切断予定ライン 5 に沿った加工対象物 1 の面、すなわち切断面となる面において、加工対象物 1 の厚み方向に長く伸びたクラック 9 を形成することができる。よって、比較的小さな力を人為的に印加するだけ又は印加することなく自然に加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って切断することができる。

30

【0039】

以上のように本実施形態によれば複数のクラック領域 9 を形成することにより加工対象物 1 を切断する際の起点となる箇所を増やしている。従って、本実施形態によれば加工対象物 1 の厚みが比較的大きい場合や加工対象物 1 の材質がクラック領域 9 形成後のクラック 91 が成長しにくい場合等においても、加工対象物 1 の切断が可能となる。

【0040】

なお、二つのクラック領域 9 だけでは切断が困難な場合、三つ以上のクラック領域 9 を形成する。例えば、図 16 に示すように、クラック領域 9A とクラック領域 9B との間にクラック領域 9C を形成する。また、レーザ光の入射方向ならば図 17 に示すように加工対象物 1 の厚み方向と直交する方向にも切断することができる。

40

【0041】

本実施形態において、複数のクラック領域 9 は、パルスレーザ光 L が入射する加工対象物の入射面 (例えば表面 3) に対して遠い方から順に形成するのが好ましい。例えば図 14 において、先にクラック領域 9A を形成し、その後にクラック領域 9B を形成する。入射面に対して近い方から順にクラック領域 9 を形成すると、後に形成されるクラック領域 9 形成時に照射されるパルスレーザ光 L が先に形成されたクラック領域 9 により散乱され、これにより、後に形成されるクラック領域 9 の形成が妨げられる。

50

Lで形成されるクラック部分（クラックスポット）の寸法にばらつきが生じる。よって、後に形成されるクラック領域9を均一に形成することができない。これに対して、入射面に対して遠い方から順にクラック領域9を形成すると上記散乱が生じないので、後に形成されるクラック領域9を均一に形成することができる。

【0042】

但し、本実施形態において、複数のクラック領域9の形成順序は上記に限定されず、加工対象物の入射面に対して近い方から順に形成してもよいし、またランダムに形成してもよい。ランダムに形成とは、例えば図16において、まずクラック領域9Cを形成し、次にクラック領域9Bを形成し、レーザー光の入射方向を反対にして最後にクラック領域9Aを形成するのである。

【0043】

なお、複数の改質領域形成について、クラック領域の場合で説明したが、熔融処理領域や屈折率変化領域でも同様のことが言える。また、パルスレーザー光について説明したが、連続波レーザー光についても同様のことが言える。

【0044】

次に、本実施形態に係るレーザー加工方法に使用されるレーザー加工装置の一例について説明する。図18はこのレーザー加工装置100の概略構成図である。レーザー加工装置100は、レーザー光Lを発生するレーザー光源101と、レーザー光Lの出力やパルス幅等を調節するためにレーザー光源101を制御するレーザー光源制御部102と、レーザー光Lの反射機能を有しかつレーザー光Lの光軸の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、ダイクロイックミラー103で反射されたレーザー光Lを集光する集光用レンズ105と、集光用レンズ105で集光されたレーザー光Lが照射される加工対象物1が載置される載置台107と、載置台107をX軸方向に移動させるためのX軸ステージ109と、載置台107をX軸方向に直交するY軸方向に移動させるためのY軸ステージ111と、載置台107をX軸及びY軸方向に直交するZ軸方向に移動させるためのZ軸ステージ113と、これら三つのステージ109、111、113の移動を制御するステージ制御部115と、を備える。

【0045】

レーザー光源101はパルスレーザー光を発生するNd:YAGレーザーである。レーザー光源101に用いることができるレーザーとして、この他、Nd:YVO₄レーザーやNd:YLFレーザーやチタンサファイアレーザーがある。クラック領域や熔融処理領域を形成する場合、Nd:YAGレーザー、Nd:YVO₄レーザー、Nd:YLFレーザーを用いるのが好適である。屈折率変化領域を形成する場合、チタンサファイアレーザーを用いるのが好適である。

【0046】

集光点PのX（Y）軸方向の移動は、加工対象物1をX（Y）軸ステージ109（111）によりX（Y）軸方向に移動させることにより行う。Z軸方向は加工対象物1の表面3と直交する方向なので、加工対象物1に入射するレーザー光Lの焦点深度の方向となる。よって、Z軸ステージ113をZ軸方向に移動させることにより、加工対象物1の内部にレーザー光Lの集光点Pを合わせることができる。つまり、Z軸ステージ113により加工対象物1の厚み方向における集光点Pの位置が調節される。これにより、例えば、集光点Pを加工対象物1の厚み方向において厚みの半分の位置より入射面（表面3）に近い位置又は遠い位置に調節したり、厚みの略半分の位置に調節したりすることができる。なお、集光用レンズ105をZ軸方向に移動させることによっても、これらの調節やレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせることができる。

【0047】

ここで、Z軸ステージによる加工対象物の厚み方向における集光点Pの位置の調節について図19及び図20を用いて説明する。本実施形態では加工対象物の厚み方向におけるレーザー光の集光点の位置を、加工対象物の表面（入射面）を基準として加工対象物の内部の位置に調節している。図19は、レーザー光Lの集光点Pが加工対象物1の表面3に

10

20

30

40

50

位置している状態を示している。図20に示すように、Z軸ステージを集光用レンズ105に向けてz移動させると、集光点Pは表面3から加工対象物1の内部に移動する。集光点Pの加工対象物1の内部における移動量は Nz である（Nはレーザ光Lに対する加工対象物1の屈折率である）。よって、レーザ光Lに対する加工対象物1の屈折率を考慮してZ軸ステージを移動させることにより、加工対象物1の厚み方向における集光点Pの位置を制御することができる。つまり、集光点Pの加工対象物1の厚み方向における所望の位置を表面3から加工対象物1の内部までの距離（ Nz ）とする。この距離（ Nz ）を上記屈折率（N）で除することにより得られた移動量（z）だけ、加工対象物1を厚み方向に移動させる。これにより、上記所望の位置に集光点Pを合わせることができる。

【0048】

レーザ加工装置100はさらに、載置台107に載置された加工対象物1を可視光線により照明するために可視光線を発生する観察用光源117と、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された可視光用のビームスプリッタ119と、を備える。ビームスプリッタ119と集光用レンズ105との間にダイクロイックミラー103が配置されている。ビームスプリッタ119は、可視光線の約半分を反射し残りの半分を透過する機能を有しかつ可視光線の光軸の向きを 90° 変えるように配置されている。観察用光源117から発生した可視光線はビームスプリッタ119で約半分が反射され、この反射された可視光線がダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105を透過し、加工対象物1の切断予定ライン5等を含む表面3を照明する。

【0049】

レーザ加工装置100はさらに、ビームスプリッタ119、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された撮像素子121及び結像レンズ123を備える。撮像素子121としては例えばCCD（charge-coupled device）カメラがある。切断予定ライン5等を含む表面3を照明した可視光線の反射光は、集光用レンズ105、ダイクロイックミラー103、ビームスプリッタ119を透過し、結像レンズ123で結像されて撮像素子121で撮像され、撮像データとなる。

【0050】

レーザ加工装置100はさらに、撮像素子121から出力された撮像データが入力される撮像データ処理部125と、レーザ加工装置100全体を制御する全体制御部127と、モニタ129と、を備える。撮像データ処理部125は、撮像データを基にして観察用光源117で発生した可視光の焦点が表面3上に合わせるための焦点データを演算する。この焦点データを基にしてステージ制御部115がZ軸ステージ113を移動制御することにより、可視光の焦点が表面3に合うようにする。よって、撮像データ処理部125はオートフォーカスユニットとして機能する。可視光の焦点が表面3に位置するZ軸ステージ113の位置において、レーザ光Lの集光点Pも表面3に位置するようにレーザ加工装置1は調整されている。また、撮像データ処理部125は、撮像データを基にして表面3の拡大画像等の画像データを演算する。この画像データは全体制御部127に送られ、全体制御部で各種処理がなされ、モニタ129に送られる。これにより、モニタ129に拡大画像等が表示される。

【0051】

全体制御部127には、ステージ制御部115からのデータ、撮像データ処理部125からの画像データ等が入力し、これらのデータも基にしてレーザ光源制御部102、観察用光源117及びステージ制御部115を制御することにより、レーザ加工装置100全体を制御する。よって、全体制御部127はコンピュータユニットとして機能する。また、全体制御部127は、図19及び図20で説明した移動量（z）のデータが入力され、記憶される。

【0052】

次に、図18及び図21を用いて、本実施形態に係るレーザ加工方法を説明する。図21は、このレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。加工対象物1はシリコンウエハである。

10

20

30

40

50

【0053】

まず、加工対象物1の光吸収特性を図示しない分光光度計等により測定する。この測定結果に基づいて、加工対象物1に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光Lを発生するレーザ光源101を選定する(S101)。次に、加工対象物1の厚さを測定する。厚さの測定結果及び加工対象物1の屈折率を基にして、加工対象物1のZ軸方向の移動量(z)を決定する(S103)。これは、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部に位置させるために、加工対象物1の表面3に位置するレーザ光Lの集光点を基準とした加工対象物1のZ軸方向の移動量である。つまり、加工対象物1の厚み方向における集光点Pの位置が決定される。集光点Pの位置は加工対象物1の厚さ、材質等を考慮して決定する。本実施形態では加工対象物1の内部の裏面付近に集光点Pを位置させるための第1移動量のデータと表面3付近に集光点Pを位置させるための第2移動量のデータが使用される。最初に形成する溶融処理領域は第1移動量のデータを用いて形成される。次に形成する溶融処理領域は第2移動量のデータを用いて形成される。これらの移動量のデータは全体制御部127に入力される。

10

【0054】

加工対象物1をレーザ加工装置100の載置台107に載置する。そして、観察用光源117から可視光を発生させて加工対象物1を照明する(S105)。照明された切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3を撮像素子121により撮像する。この撮像データは撮像データ処理部125に送られる。この撮像データに基づいて撮像データ処理部125は観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置するような焦点データを演算する(S107)。

20

【0055】

この焦点データはステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115は、この焦点データを基にしてZ軸ステージ113をZ軸方向の移動させる(S109)。これにより、観察用光源117の可視光の焦点が表面3に位置する。Z軸ステージ113のこの位置において、パルスレーザ光Lの集光点Pは表面3に位置することになる。なお、撮像データ処理部125は撮像データに基づいて、切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3の拡大画像データを演算する。この拡大画像データは全体制御部127を介してモニター129に送られ、これによりモニター129に切断予定ライン5付近の拡大画像が表示される。

30

【0056】

全体制御部127には予めステップS103で決定された第1移動量のデータが入力されており、この移動量のデータがステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115はこの移動量のデータに基づいて、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部となる位置に、Z軸ステージ113により加工対象物1をZ軸方向に移動させる(S111)。この内部の位置は加工対象物1の裏面付近である。

【0057】

次に、レーザ光源101からレーザ光Lを発生させて、レーザ光Lを加工対象物1の表面3の切断予定ライン5に照射する。レーザ光Lの集光点Pは加工対象物1の内部に位置しているので、溶融処理領域は加工対象物1の内部にのみ形成される。そして、切断予定ライン5に沿うようにX軸ステージ109やY軸ステージ111を移動させて、溶融処理領域を切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成する(S113)。溶融処理領域は加工対象物1の内部のうち、裏面付近に形成される。

40

【0058】

次に、ステップS111と同様にして第2移動量のデータに基づいて、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部の表面3付近となる位置に、Z軸ステージ113により加工対象物1をZ軸方向に移動させる(S115)。そして、ステップS113と同様にして加工対象物1の内部に溶融処理領域を形成する(S117)。このステップでは溶融処理領域が加工対象物1の内部の表面3付近に形成される。

【0059】

50

最後に、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って曲げることにより、加工対象物1を切断する(S119)。これにより、加工対象物1をシリコンチップに分割する。

【0060】

本実施形態の効果を説明する。本実施形態によれば多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Pを合わせて、パルスレーザー光Lを切断予定ライン5に照射している。そして、X軸ステージ109やY軸ステージ111を移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させている。これにより、改質領域(例えばクラック領域、溶融処理領域、屈折率変化領域)を切断予定ライン5に沿うように加工対象物1の内部に形成している。加工対象物の切断する箇所に何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。よって、改質領域を起点として切断予定ライン5に沿って加工対象物1を割ることにより、比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。これにより、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物1を切断することができる。

10

【0061】

また、本実施形態によれば、加工対象物1に多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物1の内部に集光点Pを合わせて、パルスレーザー光Lを切断予定ライン5に照射している。よって、パルスレーザー光Lは加工対象物1を透過し、加工対象物1の表面3ではパルスレーザー光Lがほとんど吸収されないので、改質領域形成が原因で表面3が溶融等のダメージを受けることはない。

【0062】

以上説明したように本実施形態によれば、加工対象物1の表面3に切断予定ライン5から外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1が例えば半導体ウェハの場合、半導体チップに切断予定ラインから外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、半導体チップを半導体ウェハから切り出すことができる。表面に電極パターンが形成されている加工対象物や、圧電素子ウェハや液晶等の表示装置が形成されたガラス基板のように表面に電子デバイスが形成されている加工対象物についても同様である。よって、本実施形態によれば、加工対象物を切断することにより作製される製品(例えば半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置)の歩留まりを向上させることができる。

20

【0063】

また、本実施形態によれば、加工対象物1の表面3の切断予定ライン5は溶融しないので、切断予定ライン5の幅(この幅は、例えば半導体ウェハの場合、半導体チップとなる領域同士の間隔である。)を小さくできる。これにより、一枚の加工対象物1から作製される製品の数が増え、製品の生産性を向上させることができる。

30

【0064】

また、本実施形態によれば、加工対象物1の切断加工にレーザー光を用いるので、ダイヤモンドカッタを用いたダイシングよりも複雑な加工が可能となる。例えば、図23に示すように切断予定ライン5が複雑な形状であっても、本実施形態によれば切断加工が可能となる。

【0065】

また、本実施形態によれば改質領域を入射方向に沿って並ぶように複数形成することにより、加工対象物1を切断する際に起点となる箇所を増やしている。例えば、加工対象物1のレーザー光の入射方向の寸法が比較的大きい場合や、加工対象物1が改質領域からクラックが成長しにくい材質の場合、切断予定ライン5に沿った改質領域が一本だけでは加工対象物1の切断が困難である。従って、このような場合、本実施形態のように複数の改質領域を形成することにより、加工対象物1を容易に切断することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図1】本実施形態に係るレーザー加工方法によってレーザー加工中の加工対象物の平面図で

50

【図 2】 図 1 に示す加工対象物の I I - I I 線に沿った断面図である。

【図 3】 本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図 4】 図 3 に示す加工対象物の I V - I V 線に沿った断面図である。

【図 5】 図 3 に示す加工対象物の V - V 線に沿った断面図である。

【図 6】 本実施形態に係るレーザ加工方法によって切断された加工対象物の平面図である。

【図 7】 本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックの大きさとの関係を示すグラフである。

【図 8】 本実施形態に係るレーザ加工方法の第 1 工程における加工対象物の断面図である 10

【図 9】 本実施形態に係るレーザ加工方法の第 2 工程における加工対象物の断面図である。

【図 10】 本実施形態に係るレーザ加工方法の第 3 工程における加工対象物の断面図である。

【図 11】 本実施形態に係るレーザ加工方法の第 4 工程における加工対象物の断面図である。

【図 12】 本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【図 13】 本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。 20

【図 14】 本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物の内部にクラック領域が形成された加工対象物の一例の斜視図である。

【図 15】 図 14 に示すクラック領域から延びたクラックが形成された加工対象物の斜視図である。

【図 16】 本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物の内部にクラック領域が形成された加工対象物の他の例の斜視図である。

【図 17】 本実施形態に係るレーザ加工方法を用いて加工対象物の内部にクラック領域が形成された加工対象物のさらに他の例の斜視図である。

【図 18】 本実施形態に係るレーザ加工方法に使用できるレーザ加工装置の一例の概略構成図である。 30

【図 19】 レーザ光の集光点が加工対象物の表面に位置している状態を示す図である。

【図 20】 レーザ光の集光点が加工対象物の内部に位置している状態を示す図である。

【図 21】 本実施形態に係るレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。

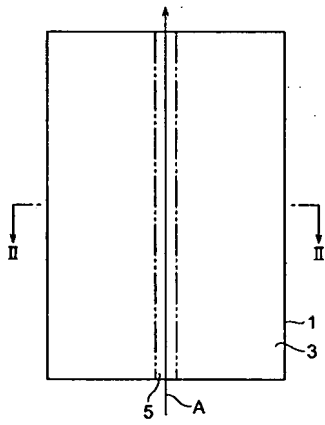
【図 22】 本実施形態に係るレーザ加工方法により切断可能なパターンを説明するための加工対象物の平面図である。

【符号の説明】

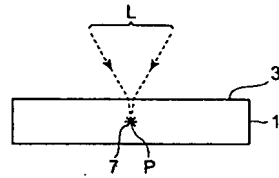
【0067】

1 …加工対象物、3 …表面、5 …切断予定ライン、7 …改質領域、100 …レーザ加工装置、101 …レーザ光源、105 …集光用レンズ、107 …載置台、115 …ステージ 40
制御部（制御部）、127 …全体制御部（制御部）、L …レーザ光、P …集光点。

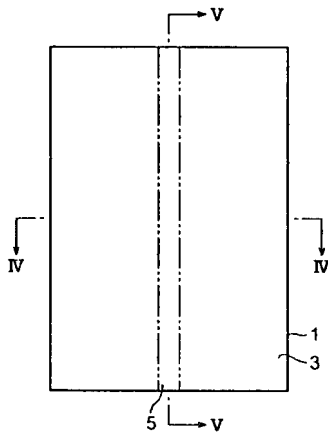
【図 1】



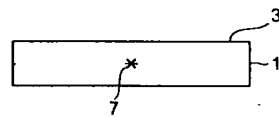
【図 2】



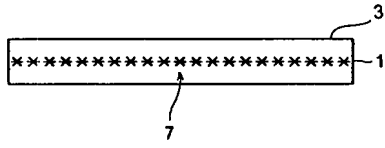
【図 3】



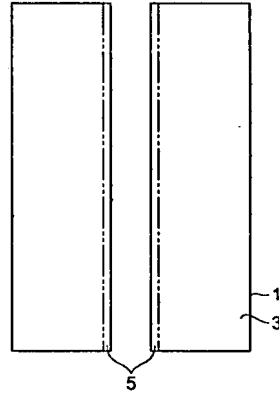
【図 4】



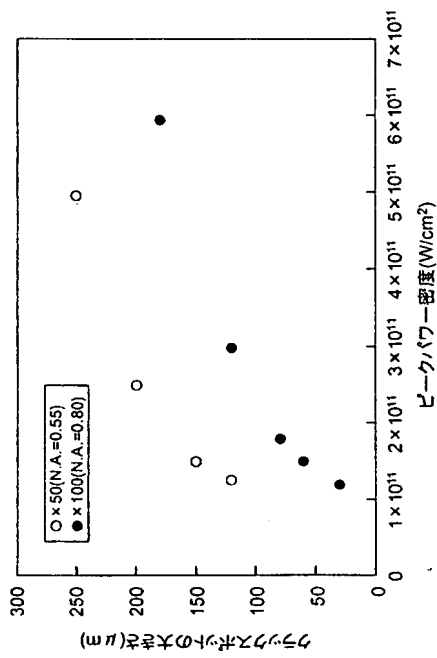
【図 5】



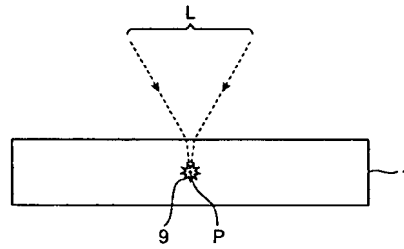
【図 6】



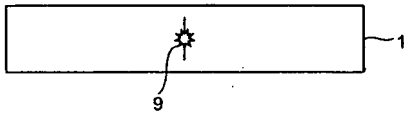
【図 7】



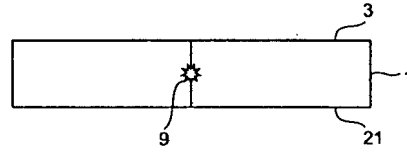
【図 8】



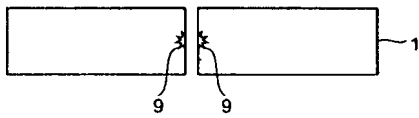
【図 9】



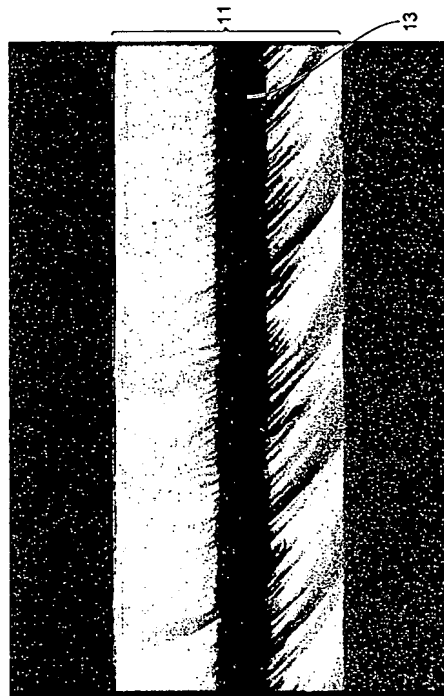
【図 10】



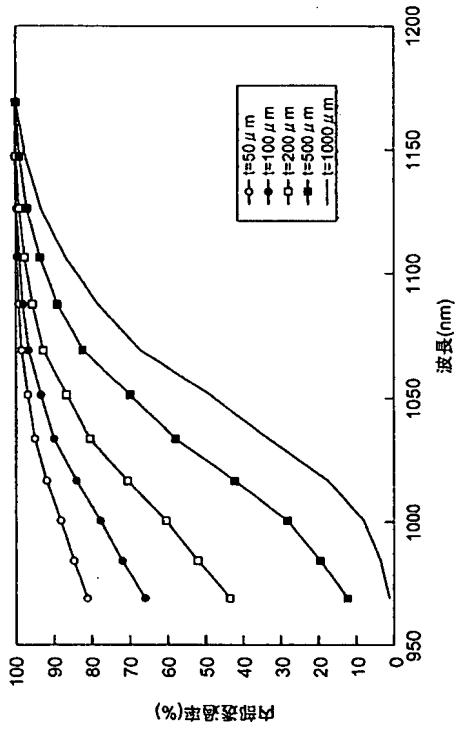
【図 11】



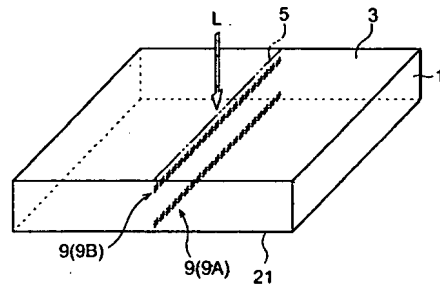
【図 12】



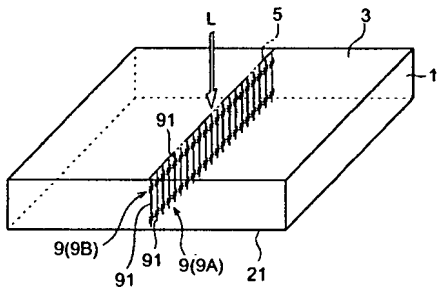
【図 13】



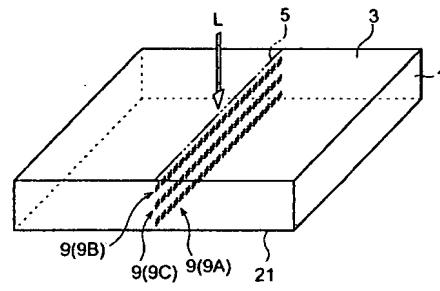
【図 14】



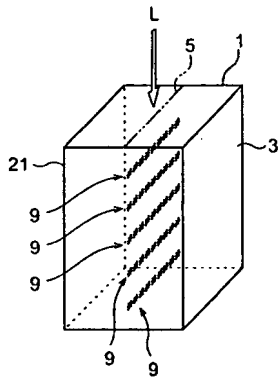
【図 15】



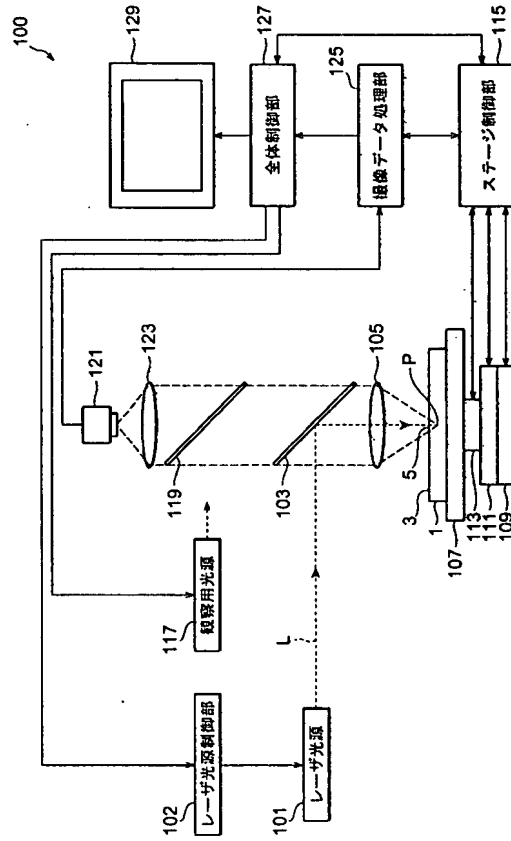
【図 16】



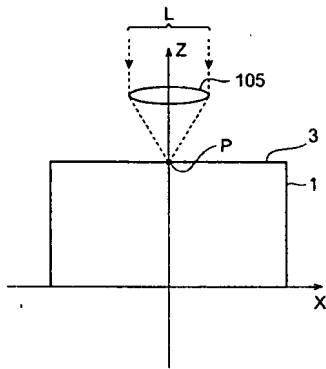
【図17】



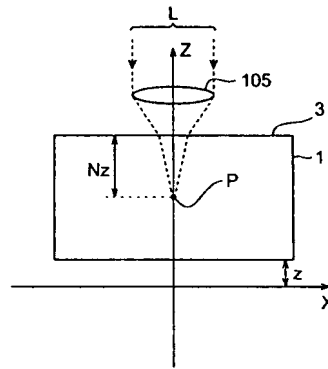
【図18】



【図19】

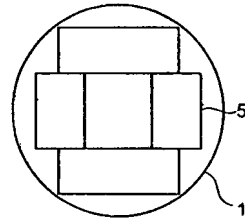
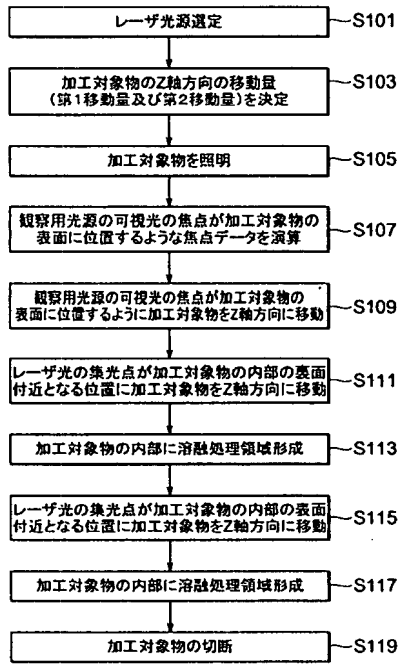


【図20】



【図 2 1】

【図 2 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/301

F I

H 0 1 L 21/78

B

テーマコード(参考)

(72)発明者 内山 直己

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

(72)発明者 和久田 敏光

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

Fターム(参考) 3C069 AA01 BA08 BB03 BB04 BC02 BC06 CA06 CA11 CB02 EA01

EA02 EA05

4E068 AE01 CA03 CA04 CA07 CA15 CB02 CC01 CC02 CD13 DA10

DB13

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-313237

(43)Date of publication of application : 10.11.2005

(51)Int.Cl. B23K 26/38
 B23K 26/06
 B23K 26/073
 B23K 26/40
 B28D 5/04
 H01L 21/301
 // B23K101:40

(21)Application number : 2005-207559

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 15.07.2005

(72)Inventor : FUKUYO FUMITSUGU
 FUKUMITSU KENJI
 UCHIYAMA NAOKI
 WAKUTA TOSHIMITSU

(30)Priority

Priority number : 2000278306

Priority date : 13.09.2000

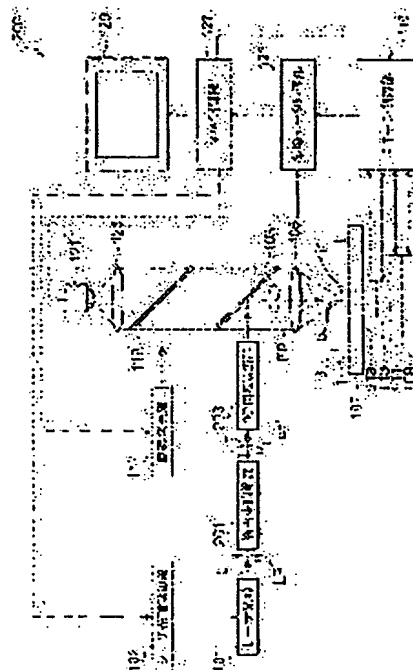
Priority country : JP

(54) LASER BEAM MACHINING METHOD AND LASER BEAM MACHINING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser beam machining method capable of efficiently cutting a work without producing a fusing and a cracking on the surface of the work.

SOLUTION: A laser beam L as linearly polarized light is radiated on the predetermined cut line 5 on the surface of the work 1 under the conditions causing a multiple photon absorption and with a condensed point aligned to the inside of the work 1, and a modified area is formed inside the work 1 along the predetermined cut line 5, whereby the work 1 can be cut with a rather small force by cracking the work 1 along the predetermined cut line 5 starting from the modified area and, because the pulse laser beam L radiated is not almost absorbed onto the surface 3 of the work 1, the surface 3 is not fused even if the modified area is formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインと沿うように、前記加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する工程を備える、レーザ加工方法。

【請求項 2】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部にクラック領域を含む改質領域を形成する工程を備える、レーザ加工方法。

10

【請求項 3】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に熔融処理領域を含む改質領域を形成する工程を備える、レーザ加工方法。

【請求項 4】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上でかつパルス幅が $1 ns$ 以下の条件でレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に屈折率に変化した領域である屈折率変化領域を含む改質領域を形成する工程を備える、レーザ加工方法。

20

【請求項 5】

前記楕円偏光は楕円率が零の直線偏光である、請求項 1～4 のいずれかに記載のレーザ加工方法。

【請求項 6】

前記楕円偏光の楕円率を $1/4$ 波長板の方位角変化により調節する、請求項 1～5 のいずれかに記載のレーザ加工方法。

30

【請求項 7】

前記改質領域を形成する工程後、

$1/2$ 波長板によりレーザ光の偏光を略 90° だけ回転させて、前記加工対象物にレーザ光を照射する工程を備える、請求項 1～6 のいずれかに記載のレーザ加工方法。

【請求項 8】

前記改質領域を形成する工程後、

前記加工対象物の厚さ方向を軸として、前記加工対象物を略 90° だけ回転させて、前記加工対象物にレーザ光を照射する工程を備える、請求項 1～6 のいずれかに記載のレーザ加工方法。

40

【請求項 9】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインに沿うように、前記加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物を切断する工程を備える、レーザ加工方法。

【請求項 10】

1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を半導体材料からなる加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が前記加工対象物の切断予定ラインと沿うように、前記加工対象物にレーザ光を照射することにより、前記切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に熔融処理領域を形成する工程を備える、レーザ加工方法。

50

【請求項 1 1】

パルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下のパルスレーザー光を出射するレーザー光源と、
 前記レーザー光源から出射されたパルスレーザー光を 1 以外の楕円率の楕円偏光に調節する楕円率調節手段と、
 前記楕円率調節手段により調節されたパルスレーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように調節する長軸調節手段と、
 前記長軸調節手段により調節されたパルスレーザー光の集光点のピークパワー密度が $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ 以上になるようにパルスレーザー光を集光する集光手段と、
 前記集光手段により集光されたパルスレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段と、
 前記切断予定ラインに沿ってパルスレーザー光の集光点を相対的に移動させる移動手段と、
 を備える、レーザー加工装置。

【請求項 1 2】

前記楕円率調節手段により調節されたパルスレーザー光の偏光を略 90° だけ回転調節する 90° 回転調節手段を備える、請求項 1 1 記載のレーザー加工装置。

【請求項 1 3】

前記加工対象物の厚さ方向を軸として前記加工対象物が載置される載置台を略 90° だけ回転させる回転手段を備える、請求項 1 1 記載のレーザー加工装置。

【請求項 1 4】

パルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下であってかつ直線偏光を有するパルスレーザー光を出射するレーザー光源と、
 前記レーザー光源から出射されたパルスレーザー光の直線偏光の向きが加工対象物の切断予定ラインと沿うように調節する直線偏光調節手段と、
 前記直線偏光調節手段により調節されたパルスレーザー光の集光点のピークパワー密度が $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ 以上になるようにパルスレーザー光を集光する集光手段と、
 前記集光手段により集光されたパルスレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段と、
 前記切断予定ラインに沿ってパルスレーザー光の集光点を相対的に移動させる移動手段と、
 を備える、レーザー加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体材料基板、圧電材料基板やガラス基板等の加工対象物の切断に使用されるレーザー加工方法及びレーザー加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー応用の一つに切断があり、レーザーによる一般的な切断は次の通りである。例えば半導体ウェハやガラス基板のような加工対象物の切断する箇所に、加工対象物が吸収する波長のレーザー光を照射し、レーザー光の吸収により切断する箇所において加工対象物の表面から裏面に向けて加熱溶解を進行させて加工対象物を切断する。しかし、この方法では加工対象物の表面のうち切断する箇所となる領域周辺も溶解される。よって、加工対象物が半導体ウェハの場合、半導体ウェハの表面に形成された半導体素子のうち、上記領域周辺に位置する半導体素子が溶解する恐れがある。

【0003】

加工対象物の表面の溶解を防止する方法として、例えば、下記特許文献 1 や下記特許文献 2 に開示されたレーザーによる切断方法がある。これらの公報の切断方法では、加工対象物の切断する箇所を、レーザー光により加熱し、その熱を利用して加工対象物を冷却する。これにより、加

工対象物の切断する箇所に熱衝撃を生じさせて加工対象物を切断する。

【特許文献1】特開2000-219528号公報

【特許文献2】特開2000-15467号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、これらの公報の切断方法では、加工対象物に生じる熱衝撃が大きいと、加工対象物の表面に、切断予定ラインから外れた割れやレーザー照射していない先の箇所までの割れ等の不必要な割れが発生することがある。よって、これらの切断方法では精密切断をすることができない。特に、加工対象物が半導体ウェハ、液晶表示装置が形成されたガラス基板、電極パターンが形成されたガラス基板の場合、この不必要な割れにより半導体チップ、液晶表示装置、電極パターンが損傷することがある。また、これらの切断方法では平均入力エネルギーが大きいので、半導体チップ等に与える熱的ダメージも大きい。

10

【0005】

本発明の目的は、加工対象物の表面に不必要な割れを発生させることなくかつその表面が溶融しないレーザー加工装置及びレーザー加工方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係るレーザー加工方法は、1以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、加工対象物にレーザー光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

20

【0007】

本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射しかつ多光子吸収という現象を利用することにより、加工対象物の内部に改質領域を形成している。加工対象物の切断する箇所に何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。本発明に係るレーザー加工方法によれば、改質領域を起点として切断予定ラインに沿って加工対象物が割れることにより、加工対象物を切断することができる。よって、比較的小さな力で加工対象物を切断することができるので、加工対象物の表面に切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物の切断が可能となる。

30

【0008】

また、本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の内部に局所的に多光子吸収を発生させて改質領域を形成している。よって、加工対象物の表面ではレーザー光がほとんど吸収されないので、加工対象物の表面が溶融することはない。なお、集光点とはレーザー光が集光した箇所のことである。切断予定ラインは加工対象物の表面や内部に実際に引かれた線でもよいし、仮想の線でもよい。

【0009】

また、本発明に係るレーザー加工方法によれば、レーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、加工対象物にレーザー光を照射することにより改質領域を形成している。本発明者によれば、楕円偏光をしたレーザー光を用いると、楕円偏光を表す楕円の長軸方向（つまり、偏光の偏りが強い方向）に改質領域の形成が促進されることが分かった。よって、楕円偏光を表す楕円の長軸方向が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、レーザー光を加工対象物に照射して改質領域を形成すると、切断予定ラインに沿った改質領域を効率的に形成することが可能となる。

40

【0010】

また、本発明に係るレーザー加工方法によれば、切断予定ラインに沿った方向以外において改質領域の形成が抑制されるので、加工対象物を切断予定ラインに沿って精密に切断することが可能となる。

50

【0011】

ここで、楕円率とは楕円の短軸の長さの半分／長軸の長さの半分である。レーザ光の楕円率が小さいほど、改質領域は、切断予定ラインに沿う方向の形成が促進されかつそれ以外の方向の形成が抑制される。楕円率は加工対象物の厚さや材質等を考慮して定めることができる。直線偏光は楕円率が零の楕円偏光である。

【0012】

本発明に係るレーザ加工方法は、1以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部にクラック領域を含む改質領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

10

【0013】

本発明に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射している。このため、加工対象物の内部では多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。このクラック領域は上記改質領域の一例であるので、本発明に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物の表面に熔融や切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく、レーザ加工が可能となる。このレーザ加工方法の加工対象物としては、例えば、ガラスを含む部材がある。なお、ピークパワー密度とは、パルスレーザ光の集光点の電界強度を意味する。

20

【0014】

また、レーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように加工対象物にレーザ光を照射しているので、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様に、改質領域を効率的に形成でき、また、切断予定ラインに沿って加工対象物を精密に切断することができる。

【0015】

本発明に係るレーザ加工方法は、1以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に熔融処理領域を含む改質領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

30

【0016】

本発明に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射している。よって、加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。この熔融処理領域は上記改質領域の一例であるので、本発明に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物の表面に熔融や切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく、レーザ加工が可能となる。このレーザ加工方法の加工対象物としては、例えば、半導体材料を含む部材がある。

40

【0017】

また、レーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように加工対象物にレーザ光を照射しているので、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様に、改質領域を効率的に形成でき、また、切断予定ラインに沿って加工対象物を精密に切断することができる。

【0018】

本発明に係るレーザ加工方法は、1以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の集光点を

50

加工対象物の内部に合わせかつレーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が 1 ns 以下の条件でレーザー光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に屈折率が変化した領域である屈折率変化領域を含む改質領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

【0019】

本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が 1 ns 以下の条件でレーザー光を照射している。本発明のようにパルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せず、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。この屈折率変化領域は上記改質領域の一例であるので、本発明に係るレーザー加工方法によれば、加工対象物の表面に溶融や切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく、レーザー加工が可能となる。このレーザー加工方法の加工対象物としては、例えば、ガラスを含む部材である。

10

【0020】

また、レーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように加工対象物にレーザー光を照射しているので、上記本発明に係るレーザー加工方法と同様に、改質領域を効率的に形成でき、また、切断予定ラインに沿って加工対象物を精密に切断することができる。

20

【0021】

上記本発明に係るレーザー加工方法に適用できる態様は以下の通りである。

【0022】

楕円率零の楕円偏光を有するレーザー光を用いることができる。楕円率零の場合、直線偏光となる。直線偏光によれば、改質領域の切断予定ラインに沿う方向の寸法を最大限にしつつかつそれ以外の方向の寸法を最小限にすることが可能となる。また、楕円偏光の楕円率を $1/4$ 波長板の方位角変化により調節することができる。 $1/4$ 波長板を用いれば、方位角を変化させるだけで楕円率を調節することができる。

【0023】

改質領域を形成する工程後、 $1/2$ 波長板によりレーザー光の偏光を略 90° だけ回転させて、加工対象物にレーザー光を照射することができる。また、改質領域を形成する工程後、加工対象物の厚さ方向を軸として、加工対象物を略 90° だけ回転させて、加工対象物にレーザー光を照射することができる。これらにより、加工対象物の表面に沿った方向に延びかつ改質領域と交差した他の改質領域を加工対象物の内部に形成することができる。従って、例えば、X軸方向及びY軸方向の切断予定ラインに沿った改質領域を効率的に形成することができる。

30

【0024】

本発明に係るレーザー加工方法は、 1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザー光の集光点を加工対象物の内部に合わせかつレーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインに沿うようにして、加工対象物にレーザー光を照射することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物を切断する工程を備えることを特徴とする。

40

【0025】

本発明に係るレーザー加工方法によれば、レーザー光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、加工対象物の内部に集光点を合わせて加工対象物にレーザー光を照射している。よって、加工対象物を切断予定ラインに沿って効率的に切断することが可能となる。本発明に係るレーザー加工方法は、加工対象物にレーザー光を吸収させ、加工対象物を加熱溶融させることにより、加工対象物を切断してもよい。また、本発明に係るレーザー加工方法は、加工対象物にレーザー光を照射することにより多光子吸収を発生させ、これにより加工対象物の内部に改質領域を形成し、改質領域を起点として加工対象物を切断してよい。

50

【0026】

本発明に係るレーザ加工装置は、パルス幅が $1\mu\text{s}$ 以下のパルスレーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光源から出射されたパルスレーザ光を1以外の楕円率の楕円偏光に調節する楕円率調節手段と、楕円率調節手段により調節されたパルスレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように調節する長軸調節手段と、長軸調節手段により調節されたパルスレーザ光の集光点のピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上になるようにパルスレーザ光を集光する集光手段と、集光手段により集光されたパルスレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段と、切断予定ラインに沿ってパルスレーザ光の集光点を相対的に移動させる移動手段と、を備えることを特徴とする。

10

【0027】

本発明に係るレーザ加工装置によれば、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様の理由により、加工対象物の表面に熔融や切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく、レーザ切断加工が可能となる。また、レーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うように加工対象物にレーザ光を照射しているので、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様に、改質領域を効率的に形成でき、また、切断予定ラインに沿って加工対象物を精密に切断することができる。

【0028】

上記本発明に係るレーザ加工装置に適用できる態様は以下の通りである。

【0029】

楕円率調節手段により調節されたパルスレーザ光の偏光を略 90° だけ回転調節する 90° 回転調節手段を備えるようにすることができる。また、加工対象物の厚さ方向を軸として加工対象物が載置される載置台を略 90° だけ回転させる回転手段を備えるようにすることができる。これらにより、パルスレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸を、加工対象物の表面に沿った方向に延びかつ切断予定ラインと交差する方向に延びる他の切断予定ラインと沿うようにすることができる。従って、例えば、X軸方向及びY軸方向の切断予定ラインに沿った改質領域を効率的に形成することができる。

20

【0030】

本発明に係るレーザ加工装置は、パルス幅が $1\mu\text{s}$ 以下であってかつ直線偏光を有するパルスレーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光源から出射されたパルスレーザ光の直線偏光の向きが加工対象物の切断予定ラインと沿うように調節する直線偏光調節手段と、直線偏光調節手段により調節されたパルスレーザ光の集光点のピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2)以上になるようにパルスレーザ光を集光する集光手段と、集光手段により集光されたパルスレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段と、切断予定ラインに沿ってパルスレーザ光の集光点を相対的に移動させる移動手段と、を備えることを特徴とする。

30

【0031】

本発明に係るレーザ加工装置によれば、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様の理由により、加工対象物の表面に熔融や切断予定ラインから外れた不必要な割れを発生させることなく、レーザ切断加工が可能となる。また、本発明に係るレーザ加工装置によれば、上記本発明に係るレーザ加工方法と同様に、改質領域を効率的に形成でき、また、切断予定ラインに沿って加工対象物を精密に切断することができる。

40

【発明の効果】

【0032】

本発明に係るレーザ加工方法及びレーザ加工装置によれば、加工対象物の表面に熔融や切断予定ラインから外れた割れが生じることなく、加工対象物を切断することができる。よって、加工対象物を切断することにより作製される製品（例えば、半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置）の歩留まりや生産性を向上させることができる。また、本発明に係るレーザ加工方法及びレーザ加工装置によれば、効率的に改質領域を形成できる。また、加工対象物の加工位置を任意に移動させることができる。また、加工対象物を切断

50

予定ラインに沿って精密に切断することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて説明する。本実施形態に係るレーザー加工方法及びレーザー加工装置は、多光子吸収により改質領域を形成している。多光子吸収はレーザー光の強度を非常に大きくした場合に発生する現象である。まず、多光子吸収について簡単に説明する。

【0034】

材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_G$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザー光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_G$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$ である) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザー光の強度はレーザー光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザー光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザー光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザー光の強度はレーザー光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

【0035】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザー加工の原理について図1～図6を用いて説明する。図1はレーザー加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のII-II線に沿った断面図であり、図3はレーザー加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

【0036】

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザー加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザー光Lが集光した箇所のことである。

【0037】

レーザー光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち矢印A方向に沿って)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成される。本実施形態に係るレーザー加工方法は、加工対象物1がレーザー光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザー光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザー光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が熔融することはない。

【0038】

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

【0039】

なお、改質領域を起点とした加工対象物の切断は、次の二通りが考えられる。一つは、改質領域形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、改質領域を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚みが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物に比較的小さな力で切断力を加えたり、加工対象物に温度

10

20

30

40

50

差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の一つは、改質領域を形成することにより、改質領域を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚みが小さい場合、改質領域が1つでも可能であり、加工対象物の厚みが大きい場合、厚さ方向に複数の改質領域を形成することで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、改質領域が形成されていない部分上の表面まで割れが先走ることがなく、改質部を形成した部分上の表面のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の半導体ウェハの厚みは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

【0040】

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域として、次の(1)～(3)がある。

【0041】

(1) 改質領域が一つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

レーザー光を加工対象物（例えばガラスやLiTaO₃からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上でかつパルス幅が1 μs以下の条件で照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1 ns～200 nsが好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザー熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

【0042】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

【0043】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ700 μm）

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd：YAGレーザー

波長：1064 nm

レーザー光スポット断面積： 3.14×10^{-8} cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：出力<1 mJ/パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0044】

なお、レーザー光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0045】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザー光がパルスレーザー光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザー光により加工対象物の内部に形成されたクラック領域の長さ（μm）を示す。

10

20

30

40

50

示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が100倍、開口数(NA)が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が50倍、開口数(NA)が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} (W/cm^2)程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

【0046】

次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は一つ又は複数のクラックを含む領域である。図9に示すようにクラック領域9を起点としてクラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面21に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0047】

(2) 改質領域が溶融処理領域の場合

レーザ光を加工対象物(例えばシリコンのような半導体材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2)以上でかつパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件で照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に溶融処理領域が形成される。溶融処理領域とは一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくともいずれか一つを意味する。溶融処理領域は相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。なお、電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2)である。パルス幅は例えば $1 ns \sim 200 ns$ が好ましい。

【0048】

本発明者は、シリコンウェハの内部で溶融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は下記の通りである。

【0049】

(A) 加工対象物：シリコンウェハ(厚さ $350 \mu m$ 、外径4インチ)

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長： $1064 nm$

レーザ光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} cm^2$

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数： $100 kHz$

パルス幅： $30 ns$

出力： $20 \mu J$ /パルス

レーザ光品質： TEM_{00}

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率： 50 倍

NA： 0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0050】

図12は上記条件でのレーザー加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域の厚さ方向の大きさは100 μ m程度である。

【0051】

熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚み t が50 μ m、100 μ m、200 μ m、500 μ m、1000 μ mの各々について上記関係を示した。

【0052】

例えば、Nd:YAGレーザーの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚みが500 μ m以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザー光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350 μ mであるので、多光子吸収による熔融処理領域はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から175 μ mの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200 μ mのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザー光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザー光が吸収されて、熔融処理領域がシリコンウェハ11の内部に形成（つまりレーザー光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集（2000年4月）の第72頁～第73頁の「ピコ秒パルスレーザーによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

【0053】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面に到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。なお、熔融処理領域からシリコンウェハの表面と裏面に割れが自然に成長するのは、一旦熔融後再固化した状態となった領域から割れが成長する場合、熔融状態の領域から割れが成長する場合及び熔融から再固化する状態の領域から割れが成長する場合のうち少なくともいずれか一つである。いずれの場合も切断後の切断面は図12に示すように内部にのみ熔融処理領域が形成される。加工対象物の内部に熔融処理領域を形成する場合、割断時、切断予定ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、割断制御が容易となる。

【0054】

(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

レーザー光を加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上でかつパルス幅が1ns以下の条件で照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1ns以下が好ましく、1ps以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0055】

以上のように本実施形態によれば改質領域を多光子吸収により形成している。そして、本実施形態は、直線偏光をしたレーザー光の直線偏光の向きが加工対象物の切断予定ラインと沿うようにして、加工対象物にレーザー光を照射することにより、加工対象物に改質領域を形成している。これにより、レーザー光がパルスレーザー光の場合、1パルスのショット（つまり1パルスのレーザー照射）で形成された改質スポットにおいて、切断予定ラインに沿った方向の寸法を相対的に大きくすることができる。これを本発明者は実験により確認した。実験条件は次ぎの通りである。

【0056】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラスウェハ（厚さ700 μ m、外径4インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd：YAGレーザー

波長：1064nm

レーザー光スポット断面積：3.14 $\times 10^{-8}$ cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100kHz

パルス幅：30ns

出力：出力<1mJ/パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50倍

NA：0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0057】

加工対象物であるサンプル1、2の各々において、加工対象物の内部に集光点を合わせてパルスレーザー光を1パルスショットし、加工対象物の内部に多光子吸収によるクラック領域を形成した。サンプル1に直線偏光のパルスレーザー光を照射し、サンプル2に円偏光のパルスレーザー光を照射した。

【0058】

図14はサンプル1の平面の写真を表した図であり、図15はサンプル2の平面の写真を表した図である。これらの平面はパルスレーザー光の入射面209である。記号LPは直線偏光を模式的に示しており、記号CPは円偏光を模式的に示している。そして、図16は図14に示すサンプル1のXVI-XVI線に沿った断面を模式的に表した図である。図17は図15に示すサンプル2のXVII-XVII線に沿った断面を模式的に表した図である。加工対象物であるガラスウェハ211の内部にクラックスポット90が形成されている。

【0059】

図16に示すようにパルスレーザー光が直線偏光の場合、1パルスのショットで形成されるクラックスポット90の寸法は直線偏光の向きに沿った方向において相対的に大きくなっている。これは、クラックスポット90の形成がこの方向に促進されていることを示している。一方、図17に示すようにパルスレーザー光が円偏光の場合、1パルスのショットで形成されるクラックスポット90の寸法は特定の方向に大きくならない。長さが最大となる方向のクラックスポット90の寸法は、サンプル1の方がサンプル2より大きくなっている。

【0060】

この実験結果から切断予定ラインに沿ったクラック領域を効率的に形成することができることを説明する。図18及び図19は、加工対象物の切断予定ラインに沿って形成されたクラック領域の平面図である。1パルスのショットで形成されるクラックスポット90は切断予定ラインに沿って多数形成されることにより、切断予定ラインに沿ってクラック領域が形成される。

ク領域 9 が形成されている。図 18 は、パルスレーザ光の直線偏光の方向が切断予定ライン 5 に沿うようにして、パルスレーザ光を照射して形成されたクラック領域 9 を示している。クラックスポット 90 は、切断予定ライン 5 の方向に沿っての形成が促進されることにより、この方向の寸法が比較的大きくなっている。よって、少ないショット数で切断予定ライン 5 に沿ったクラック領域 9 を形成することができる。一方、図 19 は、パルスレーザ光の直線偏光の方向を切断予定ライン 5 と直交させてパルスレーザ光を照射して形成されたクラック領域 9 を示している。クラックスポット 90 の切断予定ライン 5 の方向の寸法は比較的小さいので、クラック領域 9 を形成するのに図 18 の場合に比べてショット数が多くなる。従って、図 18 に示す本実施形態に係るクラック領域の形成方法は、図 19 に示す方法よりも効率的にクラック領域を形成することができる。

10

【0061】

また、図 19 に示す方法は、パルスレーザ光の直線偏光の方向が切断予定ライン 5 と直交させてパルスレーザ光が照射されているので、ショット時に形成されるクラックスポット 90 は、切断予定ライン 5 の幅方向において形成が促進されている。よって、クラックスポット 90 の切断予定ライン 5 の幅方向への伸びが大きくなりすぎると、加工対象物を切断予定ライン 5 に沿って精密に切断することができない。これに対して、図 18 に示す本実施形態に係る方法において、ショット時に形成されるクラックスポット 90 は、切断予定ライン 5 に沿った方向以外の方向にあまり伸びていないので、加工対象物の精密な切断が可能となる。

【0062】

20

なお、改質領域の寸法のうち所定方向の寸法が相対的に大きくすることについて、直線偏光の場合で説明したが、楕円偏光でも同じことが言える。すなわち、図 20 に示すように、レーザ光の楕円偏光 EP を表す楕円の長軸 b 方向にクラックスポット 90 の形成が促進され、この方向に沿った寸法が相対的に大きいクラックスポット 90 を形成できる。よって、1 以外の楕円率の楕円偏光をしたレーザ光の楕円偏光を表す楕円の長軸が加工対象物の切断予定ラインと沿うようにしてクラック領域を形成すると、直線偏光の場合と同様の効果が生じる。なお、楕円率とは短軸 a の長さの半分 / 長軸 b の長さの半分である。楕円率が小さくなるほど、クラックスポット 90 は長軸 b 方向に沿った寸法が大きくなる。直線偏光は楕円率が零の楕円偏光である。楕円率が 1 では円偏光となり、クラック領域の所定方向の寸法を相対的に大きくできない。よって、本実施形態においては楕円率 1 の場

30

【0063】

改質領域の寸法のうち所定方向の寸法が相対的に大きくすることについて、クラック領域の場合で説明したが、熔融処理領域や屈折率変化領域でも同様のことが言える。また、パルスレーザ光について説明したが、連続波レーザ光についても同様のことが言える。

【0064】

次に、本実施形態の具体例を説明する。

【0065】

〔第 1 例〕

本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工装置について説明する。図 21 はこのレーザ加工装置 200 の概略構成図である。レーザ加工装置 200 は、レーザ光 L を発生するレーザ光源 101 と、レーザ光 L の出力やパルス幅等を調節するためにレーザ光源 101 を制御するレーザ光源制御部 102 と、レーザ光源 101 から出射されたレーザ光 L の偏光の楕円率を調節する楕円率調節部 201 と、楕円率調節部 201 から出射されたレーザ光 L の偏光を略 90° だけ回転調節する 90° 回転調節部 203 と、を備える。

40

【0066】

レーザ光源 101 はパルスレーザ光を発生する Nd:YAG レーザである。レーザ光源 101 に用いることができるレーザとして、この他、Nd:YVO₄ レーザや Nd:YLF レーザやチタンサファイアレーザがある。クラック領域や熔融処理領域を形成する場合

50

ある。屈折率変化領域を形成する場合、チタンサファイアレーザを用いるのが好適である。

【0067】

楕円率調節部201は、図22に示すような1/4波長板207を含む。1/4波長板207は方位角 θ を変えることにより楕円偏光の楕円率を調節できる。すなわち、1/4波長板207に例えば直線偏光LPの入射光が入射すると、透過光は所定の楕円率の楕円偏光EPとなる。方位角とは楕円の長軸とX軸とのなす角である。上述したように本実施形態において、楕円率は1以外の数字が適用される。楕円率調節部201によりレーザ光Lの偏光を所望の楕円率を有する楕円偏光EPできる。加工対象物1の厚さ、材質等を考慮して楕円率は調節される。

10

【0068】

加工対象物1に直線偏光LPのレーザ光Lを照射する場合、レーザ光源101から出射されるレーザ光Lは直線偏光LPなので、レーザ光Lが直線偏光LPのままで1/4波長板を通過するように、楕円率調節部201は1/4波長板207の方位角 θ を調節する。また、レーザ光源101からは直線偏光のレーザ光Lが出射されるので、加工対象物1のレーザ照射に直線偏光LPのレーザ光だけを利用する場合、楕円率調節部201は不要となる。

【0069】

90°回転調節部203は、図23に示すような1/2波長板205を含む。1/2波長板205は直線偏光の入射光に対して直交する偏光をつくる波長板である。すなわち、1/2波長板205に例えば方位角45°の直線偏光LP₁の入射光が入射すると、透過光は入射光LP₁に対して90°だけ回転した直線偏光LP₂となる。90°回転調節部203は、楕円率調節部201から出射されたレーザ光Lの偏光を90°だけ回転させる場合、1/2波長板205をレーザ光Lの光軸上に配置させる動作をする。また、90°回転調節部203は、楕円率調節部201から出射されたレーザ光Lの偏光を回転させない場合、1/2波長板205をレーザ光Lの光路外（すなわち、レーザ光Lが1/2波長板205を通過しない場所）に配置させる動作をする。

20

【0070】

レーザ加工装置200はさらに、90°回転調節部203で偏光を90°だけ回転調節され又はされないレーザ光Lが入射しかつレーザ光Lの光軸の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、ダイクロイックミラー103で反射されたレーザ光Lを集光する集光用レンズ105と、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される加工対象物1が載置される載置台107と、載置台107をX軸方向に移動させるためのX軸ステージ109と、載置台107をX軸方向に直交するY軸方向に移動させるためのY軸ステージ111と、載置台107をX軸及びY軸方向に直交するZ軸方向に移動させるためのZ軸ステージ113と、載置台107のX-Y平面を加工対象物1の厚さ方向を軸として回転させるための θ 軸ステージ213と、これら四つのステージ109、111、113、213の移動を制御するステージ制御部115と、を備える。

30

【0071】

Z軸方向は加工対象物1の表面3と直交する方向なので、加工対象物1に入射するレーザ光Lの焦点深度の方向となる。よって、Z軸ステージ113をZ軸方向に移動させることにより、加工対象物1の内部にレーザ光Lの集光点Pを合わせることができる。また、この集光点PのX(Y)軸方向の移動は、加工対象物1をX(Y)軸ステージ109(111)によりX(Y)軸方向に移動させることにより行う。X(Y)軸ステージ109(111)が移動手段の一例となる。

40

【0072】

第1例では加工対象物1の加工にパルスレーザ光を用いているが、多光子吸収を起こさせることができるなら連続波レーザ光でもよい。集光用レンズ105は集光手段の一例である。Z軸ステージ113はレーザ光の集光点を加工対象物の内部に合わせる手段の一例である。集光用レンズ105のZ軸方向に移動させることにより、レーザ光の集光点

50

を加工対象物の内部に合わせることができる。

【0073】

レーザ加工装置200はさらに、載置台107に載置された加工対象物1を可視光線により照明するために可視光線を発生する観察用光源117と、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された可視光用のビームスプリッタ119と、を備える。ビームスプリッタ119と集光用レンズ105との間にダイクロイックミラー103が配置されている。ビームスプリッタ119は、可視光線の約半分を反射し残りの半分を透過する機能を有しかつ可視光線の光軸の向きを90°変えるように配置されている。観察用光源117から発生した可視光線はビームスプリッタ119で約半分が反射され、この反射された可視光線がダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105を透過し、加工対象物1の切断予定ライン5等を含む表面3を照明する。

10

【0074】

レーザ加工装置200はさらに、ビームスプリッタ119、ダイクロイックミラー103及び集光用レンズ105と同じ光軸上に配置された撮像素子121及び結像レンズ123を備える。撮像素子121としては例えばCCD(charge-coupled device)カメラがある。切断予定ライン5等を含む表面3を照明した可視光線の反射光は、集光用レンズ105、ダイクロイックミラー103、ビームスプリッタ119を透過し、結像レンズ123で結像されて撮像素子121で撮像され、撮像データとなる。

【0075】

レーザ加工装置200はさらに、撮像素子121から出力された撮像データが入力される撮像データ処理部125と、レーザ加工装置200全体を制御する全体制御部127と、モニタ129と、を備える。撮像データ処理部125は、撮像データを基にして観察用光源117で発生した可視光の焦点が表面3上に合わせるための焦点データを演算する。この焦点データを基にしてステージ制御部115がZ軸ステージ113を移動制御することにより、可視光の焦点が表面3に合うようにする。よって、撮像データ処理部125はオートフォーカスユニットとして機能する。また、撮像データ処理部125は、撮像データを基にして表面3の拡大画像等の画像データを演算する。この画像データは全体制御部127に送られ、全体制御部で各種処理がなされ、モニタ129に送られる。これにより、モニタ129に拡大画像等が表示される。

20

【0076】

全体制御部127には、ステージ制御部115からのデータ、撮像データ処理部125からの画像データ等が入力し、これらのデータも基にしてレーザ光源制御部102、観察用光源117及びステージ制御部115を制御することにより、レーザ加工装置200全体を制御する。よって、全体制御部127はコンピュータユニットとして機能する。

30

【0077】

次に、図21及び図24を用いて、本実施形態の第1例に係るレーザ加工方法を説明する。図24は、このレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。加工対象物1はシリコンウェハである。

【0078】

まず、加工対象物1の光吸収特性を図示しない分光光度計等により測定する。この測定結果に基づいて、加工対象物1に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光Lを発生するレーザ光源101を選定する(S101)。次に、加工対象物1の厚さを測定する。厚さの測定結果及び加工対象物1の屈折率を基にして、加工対象物1のZ軸方向の移動量を決定する(S103)。これは、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の内部に位置させるために、加工対象物1の表面3に位置するレーザ光Lの集光点を基準とした加工対象物1のZ軸方向の移動量である。この移動量を全体制御部127に入力される。

40

【0079】

加工対象物1をレーザ加工装置200の載置台107に載置する。そして、観察用光源117から可視光を発生させて加工対象物1を照明する(S105)。照明された切断予定ライン5を含む加工対象物1の表面3を撮像素子121により撮像する。この撮像データ

50

タは撮像データ処理部 125 に送られる。この撮像データに基づいて撮像データ処理部 125 は観察用光源 117 の可視光の焦点が表面 3 に位置するような焦点データを演算する (S107)。

【0080】

この焦点データはステージ制御部 115 に送られる。ステージ制御部 115 は、この焦点データを基にして Z 軸ステージ 113 を Z 軸方向の移動させる (S109)。これにより、観察用光源 117 の可視光の焦点が表面 3 に位置する。なお、撮像データ処理部 125 は撮像データに基づいて、切断予定ライン 5 を含む加工対象物 1 の表面 3 の拡大画像データを演算する。この拡大画像データは全体制御部 127 を介してモニタ 129 に送られ、これによりモニタ 129 に切断予定ライン 5 付近の拡大画像が表示される。

10

【0081】

全体制御部 127 には予めステップ S103 で決定された移動量データが入力されており、この移動量データがステージ制御部 115 に送られる。ステージ制御部 115 はこの移動量データに基づいて、レーザ光 L の集光点 P が加工対象物 1 の内部となる位置に、Z 軸ステージ 113 により加工対象物 1 を Z 軸方向に移動させる (S111)。

【0082】

次に、楕円率調節部 201 により、レーザ光源 101 から出射される直線偏光 LP のレーザ光 L の楕円率を調節する (S113)。楕円率調節部 201 において 1/4 波長板の方位角 θ を変えることにより、所望の楕円率の楕円偏光 EP を有するレーザ光 L を得ることができる。

20

【0083】

まず、加工対象物 1 を Y 軸方向に沿って加工するので、レーザ光 L の楕円偏光 EP を表す楕円の長軸が加工対象物 1 の Y 軸方向に伸びた切断予定ライン 5 の方向と一致するように調節する (S115)。これは、 θ 軸ステージ 213 を回転させることより達成される。よって、 θ 軸ステージ 213 は長軸調節手段や直線偏光調節手段として機能する。

【0084】

Y 軸方向に沿って加工対象物 1 を加工するので、90° 回転調節部 203 は、レーザ光 L の偏光を回転させないような調節をする (S117)。つまり、1/2 波長板をレーザ光 L の光路外に配置させる動作をする。

【0085】

レーザ光源 101 からレーザ光 L を発生させて、レーザ光 L を加工対象物 1 の表面 3 の Y 軸方向に伸びた切断予定ライン 5 に照射する。図 25 は加工対象物 1 の平面図である。レーザ光 L の楕円偏光 EP の楕円を表す長軸が加工対象物 1 の一番右の切断予定ライン 5 に沿うようにして、加工対象物 1 にレーザ光 L が照射される。レーザ光 L の集光点 P は加工対象物 1 の内部に位置しているので、溶融処理領域は加工対象物 1 の内部にのみ形成される。切断予定ライン 5 に沿うように Y 軸ステージ 111 を移動させて、溶融処理領域を切断予定ライン 5 に沿うように加工対象物 1 の内部に形成する。

30

【0086】

そして、X 軸ステージ 109 を移動させてレーザ光 L を隣の切断予定ライン 5 に照射し、上記と同様にして溶融処理領域を隣の切断予定ライン 5 に沿うように加工対象物 1 の内部に形成する。これを繰り返すことにより、右から順に各切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 の内部に溶融処理領域を形成する (S119)。なお、直線偏光 LP のレーザ光 L を加工対象物 1 に照射する場合は、図 26 に示すようになる。すなわち、レーザ光 L の直線偏光 LP の向きが加工対象物 1 の切断予定ライン 5 に沿うように、レーザ光 L が加工対象物 1 に照射される。

40

【0087】

次に、90° 回転調節部 203 により、1/2 波長板 205 (図 23) をレーザ光 L の光軸上に配置させる動作をする。これにより、楕円率調節部 201 から出射されたレーザ光 L の偏光を 90° だけ回転させる調節をする (S121)。

50

次に、レーザ光源 101 からレーザ光 L を発生させて、レーザ光 L を加工対象物 1 の表面 3 の X 軸方向に伸びた切断予定ライン 5 に照射する。図 27 は加工対象物 1 の平面図である。レーザ光 L の楕円偏光 E P を表す楕円の長軸の方向が加工対象物 1 の一番下の X 軸方向に伸びた切断予定ライン 5 に沿うようにして、加工対象物 1 にレーザ光 L が照射される。レーザ光 L の集光点 P は加工対象物 1 の内部に位置しているので、溶融処理領域は加工対象物 1 の内部にのみ形成される。切断予定ライン 5 に沿うように X 軸ステージ 109 を移動させて、溶融処理領域を切断予定ライン 5 に沿うように加工対象物 1 の内部に形成する。

【0089】

そして、Y 軸ステージ 111 を移動させて、レーザ光 L がすぐ上の切断予定ライン 5 を照射するようにし、上記と同様にして溶融処理領域を切断予定ライン 5 に沿うように加工対象物 1 の内部に形成する。これを繰り返すことにより、下から順に各切断予定ラインに沿って加工対象物 1 の内部に溶融処理領域を形成する (S123)。なお、直線偏光 L P のレーザ光 L を加工対象物 1 に照射する場合は、図 28 に示すようになる。

【0090】

そして、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って曲げることにより、加工対象物 1 を切断する (S125)。これにより、加工対象物 1 をシリコンチップに分割する。

【0091】

第 1 例の効果を説明する。これによれば、多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物 1 の内部に集光点 P を合わせて、パルスレーザ光 L を切断予定ライン 5 に照射している。そして、X 軸ステージ 109 や Y 軸ステージ 111 を移動させることにより、集光点 P を切断予定ライン 5 に沿って移動させている。これにより、改質領域 (例えばクラック領域、溶融処理領域、屈折率変化領域) を切断予定ライン 5 に沿うように加工対象物 1 の内部に形成している。加工対象物の切断する箇所に何らかの起点があると、加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。よって、改質領域を起点として切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を割ることにより、比較的小さな力で加工対象物 1 を切断することができる。これにより、加工対象物 1 の表面 3 に切断予定ライン 5 から外れた不必要な割れを発生させることなく加工対象物 1 を切断することができる。

【0092】

また、第 1 例によれば、加工対象物 1 に多光子吸収を起こさせる条件でかつ加工対象物 1 の内部に集光点 P を合わせて、パルスレーザ光 L を切断予定ライン 5 に照射している。よって、パルスレーザ光 L は加工対象物 1 を透過し、加工対象物 1 の表面 3 ではパルスレーザ光 L がほとんど吸収されないので、改質領域形成が原因で表面 3 が溶融等のダメージを受けることはない。

【0093】

以上説明したように第 1 例によれば、加工対象物 1 の表面 3 に切断予定ライン 5 から外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、加工対象物 1 を切断することができる。よって、加工対象物 1 が例えば半導体ウェハの場合、半導体チップに切断予定ラインから外れた不必要な割れや溶融が生じることなく、半導体チップを半導体ウェハから切り出すことができる。表面に電極パターンが形成されている加工対象物や、圧電素子ウェハや液晶等の表示装置が形成されたガラス基板のように表面に電子デバイスが形成されている加工対象物についても同様である。よって、第 1 例によれば、加工対象物を切断することにより作製される製品 (例えば半導体チップ、圧電デバイスチップ、液晶等の表示装置) の歩留まりを向上させることができる。

【0094】

また、第 1 例によれば、加工対象物 1 の表面 3 の切断予定ライン 5 は溶融しないので、切断予定ライン 5 の幅 (この幅は、例えば半導体ウェハの場合、半導体チップとなる領域同士の間隔である。) を小さくできる。これにより、一枚の加工対象物 1 から作製される製品の数が増え、製品の生産性を向上させることができる。

【0095】

また、第1例によれば、加工対象物1の切断加工にレーザー光を用いるので、ダイヤモンドカッターを用いたダイシングよりも複雑な加工が可能となる。例えば、図29に示すように切断予定ライン5が複雑な形状であっても、第1例によれば切断加工が可能となる。

【0096】

また、第1例によれば、図25及び図27に示すように加工対象物1には、パルスレーザー光Lの楕円偏光EPを表す楕円の長軸の方向が切断予定ライン5に沿うようにして、パルスレーザー光Lが照射されている。このためクラックスポットの切断予定ライン5の方向の寸法は比較的大きくなるので、少ないショット数で切断予定ライン5に沿ったクラック領域を形成することができる。このように第1例ではクラック領域を効率的に形成できるので、加工対象物1の加工スピードを向上させることができる。また、ショット時に形成されるクラックスポットは切断予定ライン5に沿った方向以外の方向にあまり伸びないので、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精密に切断することができる。これらの効果は後に説明する例でも同様である。

10

【0097】

[第2例]

次に、本実施形態の第2例について第1例との相違を中心に説明する。図30はこのレーザー加工装置300の概略構成図である。レーザー加工装置300の構成要素のうち、図21に示す第1例に係るレーザー加工装置200の構成要素と同一要素については同一符号を付すことによりその説明を省略する。

【0098】

レーザー加工装置300には、第1例の90°回転調節部203が設けられていない。θ軸ステージ213により、載置台107のX-Y平面が加工対象物1の厚さ方向を軸として回転させることができる。これにより、楕円率調節部203から出射されたレーザー光Lの偏光を相対的に90°だけ回転させる調節をする。

20

【0099】

本実施形態の第2例に係るレーザー加工方法について説明する。第2例においても図24に示す第1例に係るレーザー加工方法のステップS101からステップS115の動作をする。第2例には90°回転調節部203が設けられていないので、次のステップS117の動作は行われない。

【0100】

ステップS115後、ステップS119の動作が行われる。ここまでの動作により、第2例においても第1例と同様に加工対象物1は図25に示すように加工される。その後、ステージ制御部115がθ軸ステージ213を90°だけ回転させる制御をする。このθ軸ステージ213の回転により加工対象物1はX-Y平面において90°回転する。これにより、図31に示すように、すでに改質領域形成工程が終了した切断予定ライン5と交差する切断予定ラインに沿って、楕円偏光EPの長軸を合わせることができる。

30

【0101】

そして、ステップS119と同様に、レーザー光Lを加工対象物1に照射することにより、右から順に各切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に溶融処理領域を形成する。最後に、ステップS125と同様にして加工対象物1を切断し、加工対象物1をシリコンチップに分割する。

40

【0102】

以上説明した本実施形態では、多光子吸収による改質領域形成について説明した。しかしながら、本発明は多光子吸収による改質領域を形成せずに、楕円偏光を表す楕円の長軸方向が加工対象物の切断予定ラインと沿うように、加工対象物の内部に集光点を合わせて加工対象物にレーザー光を照射することにより加工対象物を切断してもよい。これによっても加工対象物を切断予定ラインに沿って効率的に切断することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0103】

【図1】本実施形態に係るレーザー加工方法によるレーザー加工中の加工対象物の平面図を示す。

50

ある。

【図 2】図 1 に示す加工対象物の II-II 線に沿った断面図である。

【図 3】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図 4】図 3 に示す加工対象物の IV-IV 線に沿った断面図である。

【図 5】図 3 に示す加工対象物の V-V 線に沿った断面図である。

【図 6】本実施形態に係るレーザ加工方法によって切断された加工対象物の平面図である。

【図 7】本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックの大きさとの関係を示すグラフである。

10

【図 8】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 1 工程における加工対象物の断面図である。

【図 9】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 2 工程における加工対象物の断面図である。

【図 10】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 3 工程における加工対象物の断面図である。

【図 11】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 4 工程における加工対象物の断面図である。

【図 12】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

20

【図 13】本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【図 14】直線偏光のパルスレーザ光を照射することにより内部にクラック領域が形成されたサンプルの平面の写真を表した図である。

【図 15】円偏光のパルスレーザ光を照射することにより内部にクラック領域が形成されたサンプルの平面の写真を表した図である。

【図 16】図 14 に示すサンプルの XVI-XVI 線に沿った断面図である。

【図 17】図 15 に示すサンプルの XVII-XVII 線に沿った断面図である。

【図 18】本実施形態に係るレーザ加工方法によりクラック領域が形成された加工対象物の切断予定ラインに沿った部分の平面図である。

30

【図 19】比較となるレーザ加工方法によりクラック領域が形成された加工対象物の切断予定ラインに沿った部分の平面図である。

【図 20】本実施形態に係る楕円偏光をしたレーザ光とそれにより形成されるクラック領域を示す図である。

【図 21】本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

【図 22】本実施形態の第 1 例に係る楕円率調節部に含まれる $1/4$ 波長板の斜視図である。

【図 23】本実施形態の第 1 例に係る 90° 回転調節部に含まれる $1/2$ 波長板の斜視図である。

【図 24】本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。

40

【図 25】本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法により楕円偏光を有するレーザ光が照射されたシリコンウェハの平面図である。

【図 26】本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法により直線偏光を有するレーザ光が照射されたシリコンウェハの平面図である。

【図 27】図 25 に示すシリコンウェハに本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法により楕円偏光を有するレーザ光が照射されたシリコンウェハの平面図である。

【図 28】図 26 に示すシリコンウェハに本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法により直線偏光を有するレーザ光が照射されたシリコンウェハの平面図である。

【図 29】本実施形態の第 1 例に係るレーザ加工方法により切断可能なピカピカを示す図である。

50

るための加工対象物の平面図である。

【図30】本実施形態の第2例に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

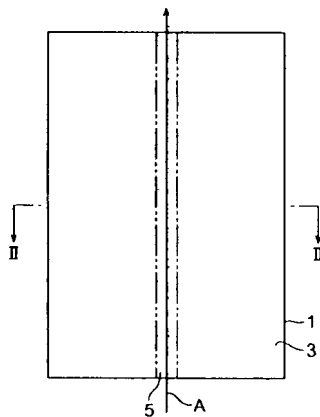
【図31】図25に示すシリコンウェハに本実施形態の第2例に係るレーザ加工方法により楕円偏光を有するレーザ光が照射されたシリコンウェハの平面図である。

【符号の説明】

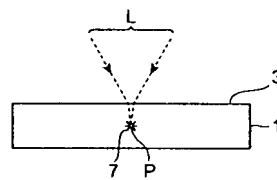
【0104】

1…加工対象物、3…表面、5…切断予定ライン、7…改質領域、9…クラック領域、11…シリコンウェハ、13…熔融処理領域、70…改質領域、90…クラック領域、101…レーザ光源、105…集光用レンズ、107…載置台、109…X軸ステージ、111…Y軸ステージ、113…Z軸ステージ、200…レーザ加工装置、201…楕円率調節部、203…90°回転調節部、213…θ軸ステージ、300…レーザ加工装置、P…集光点、LP…直線偏光、EP…楕円偏光。

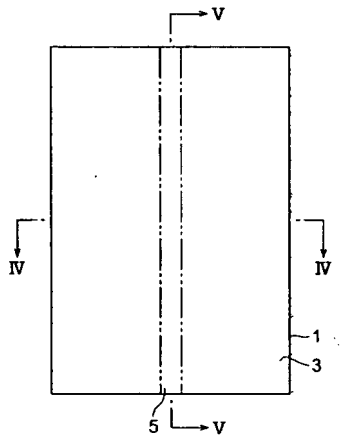
【図1】



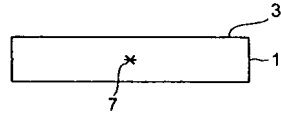
【図2】



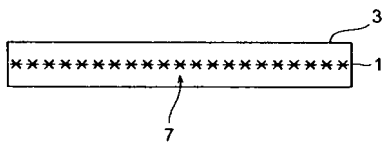
【図 3】



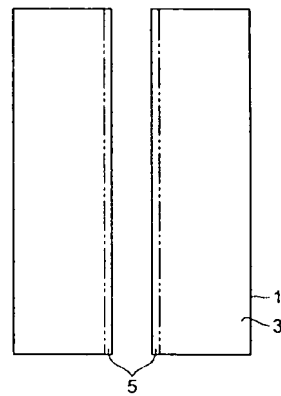
【図 4】



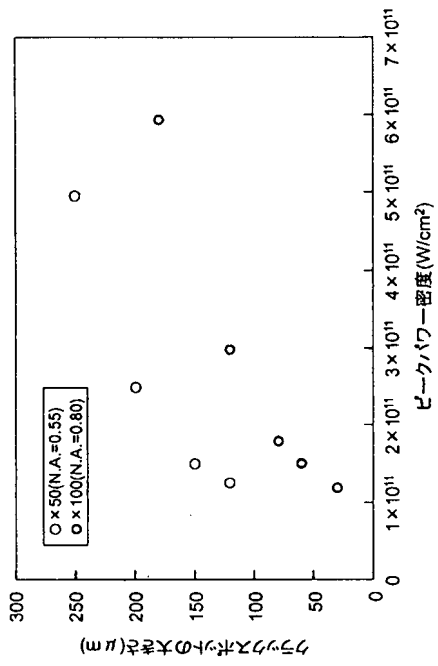
【図 5】



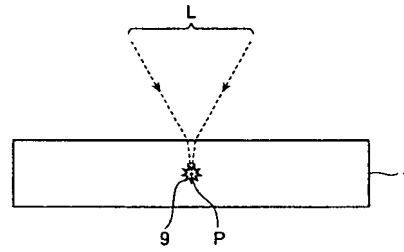
【図 6】



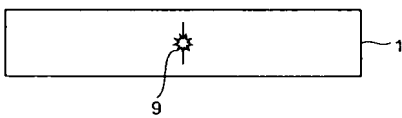
【図7】



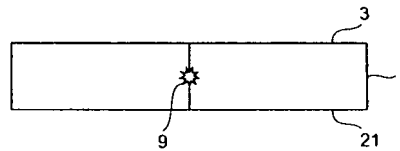
【図8】



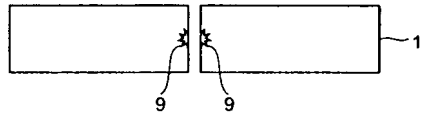
【図9】



【図10】



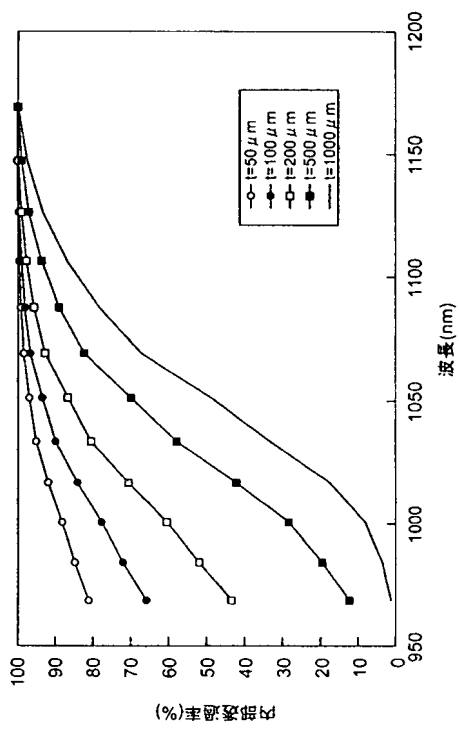
【図 1 1】



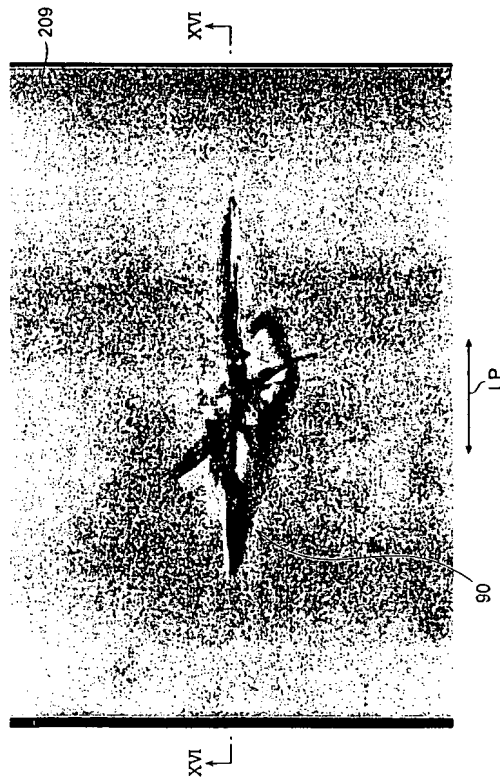
【図 1 2】



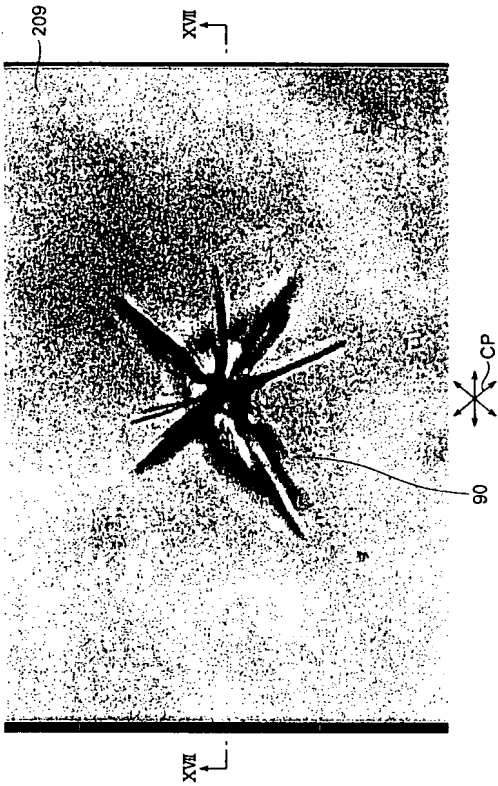
【図 1 3】



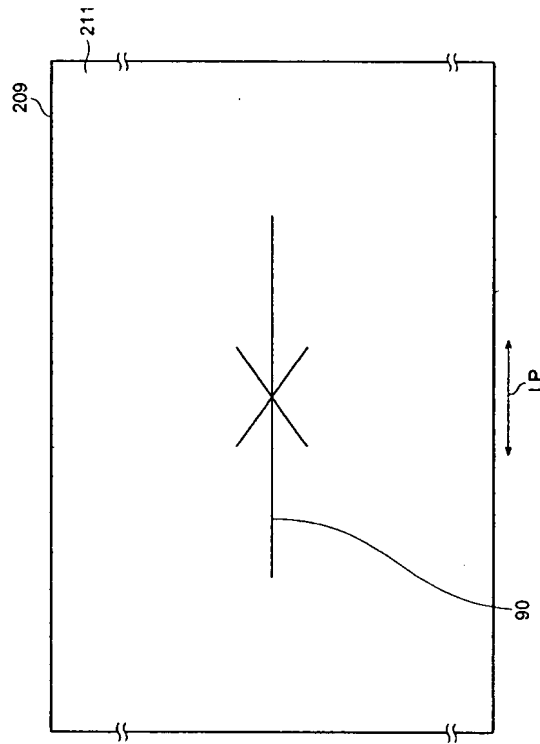
【図 1 4】



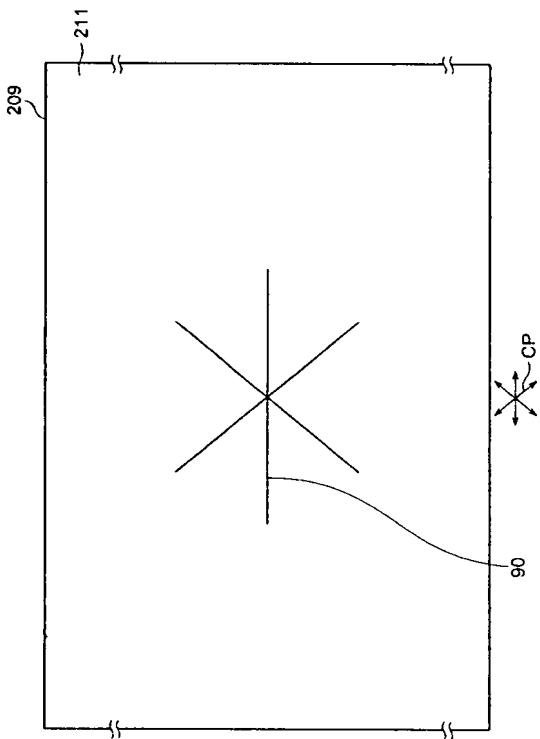
【図 15】



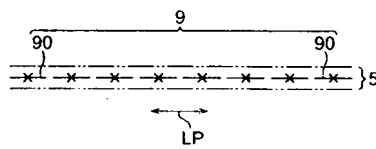
【図 16】



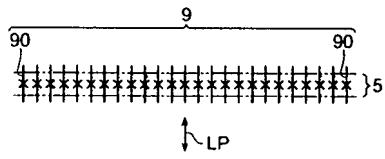
【図 17】



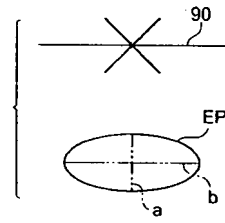
【図 18】



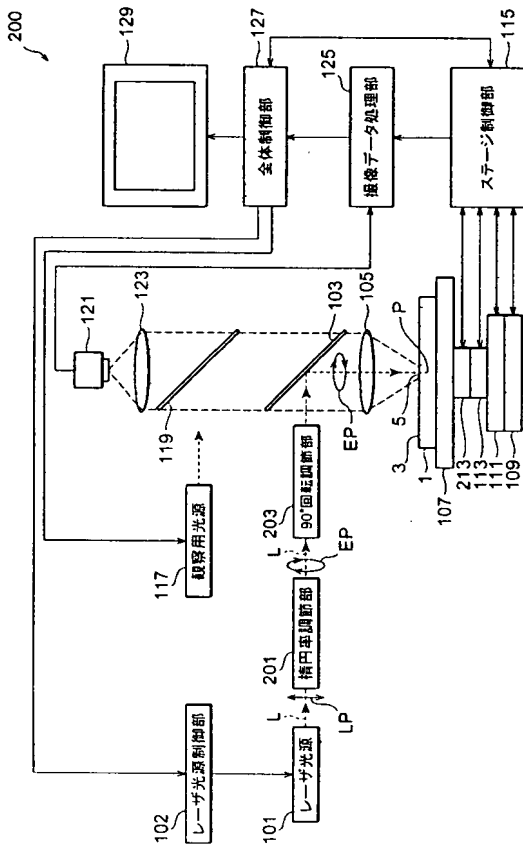
【図19】



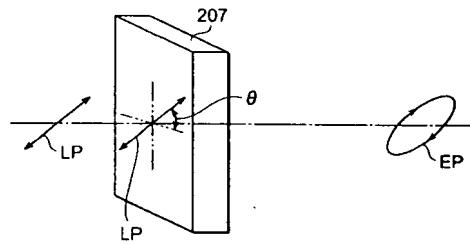
【図20】



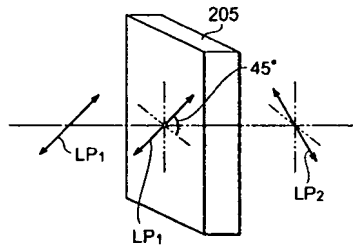
【図21】



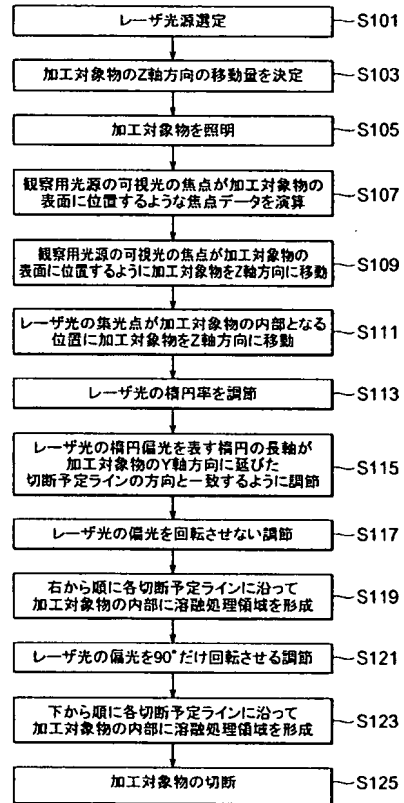
【図22】



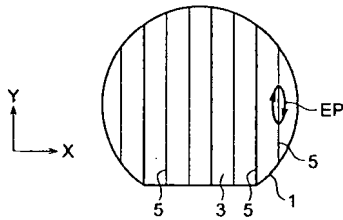
【図 2 3】



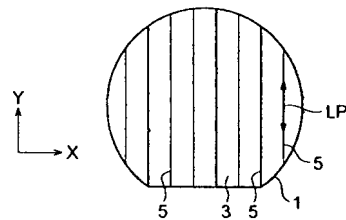
【図 2 4】



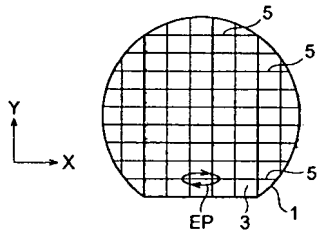
【図 2 5】



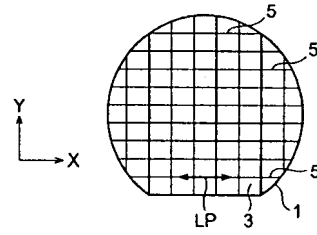
【図 2 6】



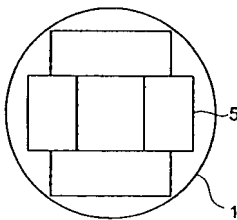
【図 27】



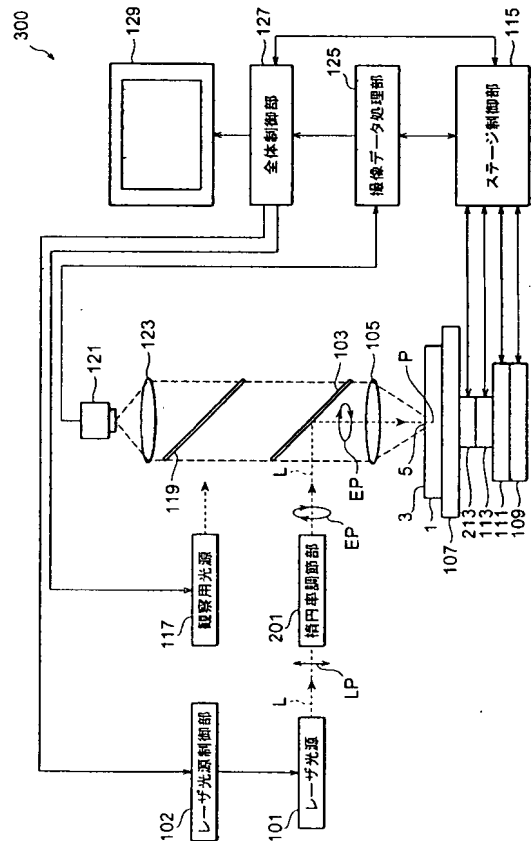
【図 28】



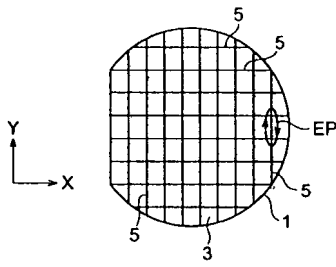
【図 29】



【図 30】



【図 31】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 21/301	H 0 1 L 21/78	B
// B 2 3 K 101:40	B 2 3 K 101:40	

(72)発明者 内山 直己

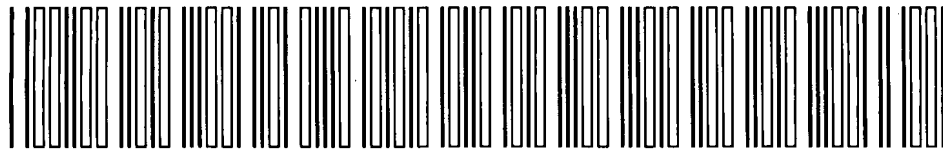
静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

(72)発明者 和久田 敏光

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

F ターム(参考) 3C069 AA01 BA08 BB01 BB04 CA05 CA06 CA11 EA01 EA04
4E068 AE00 CA02 CA03 CA09 CA11 CB09 CB10 CC02 CD08 CE01
DA10 DB11 DB13

IDS REFERENCES



FOR

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



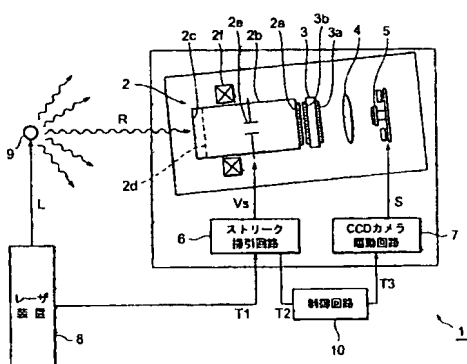
(43) 国際公開日
2001年11月29日 (29.11.2001)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 01/90709 A1

- (51) 国際特許分類: G01J 1/42, H04N 5/32
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/04280
- (22) 国際出願日: 2001年5月22日 (22.05.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2000-157025 2000年5月26日 (26.05.2000) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県浜松市市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水島 廣
- (54) Title: STREAK CAMERA APPARATUS
- (54) 発明の名称: ストリークカメラ装置
- (57) Abstract: A timing, at which a CCD camera driving circuit (7) switches an operation state of an interline-type CCD camera (5) from a charge sweeping-out operation state to an exposure operation state, is delayed behind a time, when a light (R) to be measured is emitted from a sample (9), to reduce noise which is produced in the interline-type CCD camera (5) by a neutron beam emitted from the sample (9) together with the light (R) to be measured.
- (57) 要約:

[続葉有]



6...STREAK SCANNING CIRCUIT
7...CCD CAMERA DRIVING CIRCUIT
8...LASER DEVICE
10...CONTROL CIRCUIT

CCDカメラ駆動回路7がインターライン型CCDカメラ5の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、制御回路10により、試料9から被測定光Rが放出される時点よりも遅延させることによって、被測定光Rと同時に試料9から放出される中性子線によってインターライン型CCDカメラ5の内部に発生するノイズを低減する。



WO 01/90709 A1

AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明細書

ストリークカメラ装置

技術分野

本発明は、被測定光強度の時間的変化をストリーク像として計測するストリークカメラ装置に関する。

背景技術

従来のストリークカメラ装置は、図7に示すように、被測定光強度の時間的変化をストリーク像へ変換して蛍光面101a上に形成するストリーク管101と、ストリーク管101の蛍光面101aに形成されるストリーク像を増幅して蛍光面102a上に表示するイメージインテンシファイア102と、イメージインテンシファイア102の蛍光面102aに形成される光像を撮像するフレーム転送型CCDカメラ103と、ストリーク管101の動作を制御するストリーク掃引回路104と、フレーム転送型CCDカメラ103を駆動するCCDカメラ駆動回路105とから構成される。また、ストリークカメラ装置の外部には、測定対象である試料107と、試料107から被測定光Rを放出させるためのレーザ装置106が備えられている。

次に、従来のストリークカメラ装置の動作を、図7と図8A~8Hとを参照しながら説明する。レーザ装置106からレーザ光Lが試料107に照射されると同時に(図7及び図8A)、試料107からX線等の被測定光Rが放出される(図7及び図8B)。この被測定光Rがストリーク管101の光電面101bに入射するとともに、レーザ装置106からのストリーク掃引トリガ信号T1を受信したストリーク掃引回路104によって、ストリーク管101にストリーク掃引電圧Vsが印加される(図8C及び図8D)。これにより、ストリーク管101の蛍光面101aには、ストリーク像が形成される。このストリーク像は、蛍光面101aを構成する物質に残光特性があるため、数msec間残光する。なお、試料からは中性子線が放出されるが、時間と共に急速に減衰する(図8E)。

また、ストリーク像はイメージインテンシファイア102により増幅され、増幅されたストリーク像はイメージインテンシファイア102の蛍光面102aに形成される。このイメージインテンシファイア102の蛍光面102a上の増幅されたストリーク像は、フレーム転送型CCDカメラ103により撮像される。

ここで、フレーム転送型CCDカメラ103は、ストリーク掃引回路104からのCCDトリガ信号T2を受信したCCDカメラ駆動回路105からの指令信号Sにより露光を開始する(図8F及び図8G)。ここで、露光開始のタイミングは、図8Aと図8Hとを比べるとわかるように、レーザー光Lが試料107に照射されるのと同時である。

また、従来のストリークカメラ装置には、図9に示すように、制御用コンピュータ108がレーザー装置106とCCDカメラ駆動回路105との間に設けられたものもある。この制御用コンピュータ108から、レーザートリガ信号T4がレーザー装置106へ送信され(図10A)、これと同時にレーザー光が照射され(図10B)、レーザー光照射と同時にX線の放出が開始する(図10C)。また、レーザートリガ信号T4の出力前に、ストリーク掃引トリガ信号T1が出力され(図10D)、このトリガ信号に同期してストリークカメラに印加される電圧の掃引が開始される(図10E)。なお、試料からは中性子線が放出されるが、時間と共に急速に減衰する(図10F)。

レーザートリガ信号T4の出力前に、CCDトリガ信号T2はCCDカメラ駆動回路105へ送信される(図10G)。ストリーク管蛍光面上のストリーク像の輝度はレーザー光照射と同時に増加し、時間と共に減衰する(図10H)。なお、CCDカメラの露光はCCDトリガ信号T2の出力時点からストリーク像の輝度が零になるまで行われる(図10I)。このような構成においては、図10A、図10G及び図10Iからわかるように、レーザートリガ信号T4がレーザー装置106へ送信される時点よりも一定時間だけ早い時点で、CCDトリガ信号T2がCCDカメラ駆動回路105へ送信され、被測定光Rが放出される時点よりも早くフレ

ーム転送型CCDカメラ103が露光を開始する(図10I)。

発明の開示

上述した従来のストリークカメラ装置においては、文献Rev. Sci. Instrum., 68 (1), January 1997 pp. 628~631. に述べられているような問題がある。その問題を以下に説明する。

試料107にレーザー光Lが照射されると、試料107からはX線ばかりではなく中性子線が放出される。フレーム転送型CCDカメラ103の露光は、上述の通り、試料107にレーザー光Lが照射されるのと同様(すなわち被測定光が放出されるのと同様)、あるいは照射されるより早く始まるので、露光中のフレーム転送型CCDカメラ103は中性子線に晒されることになる。

試料107から放出された中性子線がフレーム転送型CCDカメラ103に入射すれば、フレーム転送型CCDカメラ103の内部に電荷が誘起される。また、中性子線から二次的に生成された α 粒子あるいは陽子がフレーム転送型CCDカメラ103に入射した場合にも、フレーム転送型CCDカメラ103の内部に電荷が誘起される。

このようにして生じた電荷は、測定により得ようとする信号とともに外部へ転送され、ノイズとして検出されるという問題があった。

また、従来のストリークカメラ装置に使用されるイメージインテンシファイア102には電子増倍器であるMCP(マイクロチャンネルプレート:図示せず)が内蔵されているが、試料107から放出される中性子線は、このMCPにも影響を与える。すなわち、中性子線あるいは中性子線から二次的に発生した α 粒子や陽子がMCPに入射すると、MCP内部で電子が発生する。この電子は、MCP自体により増倍され、イメージインテンシファイア102の蛍光面102a上に光像を形成する。この中性子線等に起因した光像はフレーム転送型CCDカメラ103により撮像され、バックグラウンドノイズとして検出されてしまうという問題もあった。

本発明は、被測定試料から放出される中性子線に起因するノイズを低減することのできるストリークカメラ装置を提供することを課題とする。

上記の課題を解決するために、本発明に係るストリークカメラ装置は、被測定光強度の時間的変化をストリーク像へ変換するストリーク管と、ストリーク像を増幅する増幅手段と、増幅手段により増幅されたストリーク像を撮像するインターライン型CCDカメラと、ストリーク管の動作を制御するストリーク掃引回路と、インターライン型CCDカメラの動作状態を、電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるCCDカメラ駆動回路と、CCDカメラ駆動回路がインターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、被測定光が放出される時点よりも遅延させる制御回路とを備えることを特徴とする。

レーザー光が試料に照射されると、被測定光であるX線とともに中性子線が試料から放出されるが、中性子線が大量に発生する期間は、試料へのレーザー光入射後数十 μsec である。一方、ストリーク管で形成されるストリーク像が残像する期間は、概ね数 msec 間である。たとえば、蛍光面として使用されるP-43の残光時間(発光強度が10%まで低下する時間)は約1 msec である。また、P-39のように50~100 msec もの間残光するものもある。

したがって、CCDカメラの露光開始をレーザー光照射時点(X線と中性子線とが放出される時点)より数十 μsec 遅らせて、中性子線の強度が十分に減衰してからCCDカメラの露光を開始すれば、CCDカメラ露光中の中性子線の影響を低減することができる。しかも、蛍光面には数 msec 間残光があるため、CCDカメラの露光開始タイミングを遅延させても測定に必要な情報は問題なく得られる。

本発明によるストリークカメラ装置は、CCDカメラ駆動回路がCCDカメラ(インターライン型)の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミング(すなわちCCDカメラが露光を開始するタイミング)を、

被測定光が放出される時点よりも遅延させる制御回路を備えている。そのため、CCDカメラが露光を開始するタイミングをレーザー光照射時点（X線と中性子線とが放出される時点）よりも一定の遅延時間 δ （数十 $\mu\text{s e c}$ ）だけ遅延させることができる。したがって、CCDカメラは中性子線の強度が十分に減衰してから露光を開始するので、CCDカメラが露光中に中性子線等から受ける影響を低減することができる。

また、CCDカメラの露光開始タイミングをレーザー光照射時点より遅らせるだけでは、中性子線等がCCDカメラに与える影響を十分に除去できるわけではない。すなわち、露光開始以前であっても、中性子線あるいは中性子線から二次的に生成される α 粒子や陽子がCCDカメラに入射するとCCDカメラには電荷が誘起される。この誘起された電荷は、CCDカメラ内に蓄積され、露光終了後に、被測定光（X線）により誘起された電荷とともに外部へ転送されるので、ノイズとして観測されてしまう。

そこで、本発明のストリークカメラ装置においては、従来のストリークカメラ装置において常用されるフレーム転送型CCDカメラに替わり、インターライン型CCDカメラを用いる。このインターライン型CCDカメラは、フレーム転送型CCDカメラに比べて、CCDカメラ内に蓄積された電荷を高速に掃き捨てることができるので、中性子線等が露光開始以前にCCDカメラに入射することによってCCDカメラ内に電荷が誘起されたとしても、その電荷を極めて短時間（遅延時間 δ より短い時間）に掃き捨てることができる。したがって、インターライン型CCDカメラが露光開始以前に被る中性子線等の影響を低減することができる。

上記のように、本発明のストリークカメラ装置においては、CCDカメラ駆動回路がCCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、制御回路により被測定光の放出時点から遅延させるようにしているので、試料から放出される中性子線が減衰してから、CCDカメラの

露光を開始することができる。その結果、CCDカメラ露光中に中性子線あるいは中性子線から二次的に生じる α 粒子や陽子に起因するノイズを低減できる。

さらに、インターライン型CCDカメラを用い、このインターライン型CCDカメラを露光開始前に電荷掃き捨て動作状態としておくことによって、インターライン型CCDカメラ内で中性子線等により誘起される電荷を掃き捨てることができる。その結果、被測定光と中性子線とが試料より放出された時点から露光が始まる時点までの間にインターライン型CCDカメラ内で中性子線等により生じるノイズをも低減できる。

また、本発明によるストリークカメラ装置においては、上述の制御回路が、CCDカメラ駆動回路がインターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、被測定光が放出される時点よりも一定期間早い時点から一定期間遅い時点までの間に設定できるように構成されるのが好ましい。

制御回路を上述のように構成すれば、CCDカメラ駆動回路がインターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを被測定光が放出される時点に対して一定期間早い時点から一定期間遅い時点までの間に適宜調整できる。したがって、測定により得ようとする信号と中性子線等に起因したノイズとの強度の比（すなわちS/N比）を確認しながら測定を行なえるので、精度良い測定が可能となる。

また、本発明のストリークカメラ装置は、ストリーク像を増幅する増幅手段を被測定光が放出される時点よりも遅延させて駆動するための駆動手段をさらに備えるよう構成されるのが好ましい。

このように構成すれば、ストリーク像を増幅する増幅手段であるイメージインテンシファイアに内蔵された電子増倍器であるMCPに電圧を印加するタイミングを、上記の駆動手段によって中性子線の強度が減衰するまで遅延させることができるので、中性子等の粒子線がMCPへ与える影響を低減できる。すなわち、

被測定光が放出される時点よりもMCPに電圧を印加する時点を遅延させれば、中性子線が大量に発生する期間には、MCPには電圧が印加されていないこととなり、中性子線等によりMCP内で電子が誘起されたとしても、この電子が増倍されることはない。

したがって、従来の技術のように遅延させることなくMCPに電圧を印加した場合に比べ、中性子等の粒子線によりMCPで生じるノイズを数千分の一にまで低く抑えることができる。なお、中性子線の強度が減衰した数十 μ sec後にMCPへの電圧を印加するようにしても、ストリーク管の蛍光面にはストリーク像が数msec間継続するので問題なく測定を行える。

また、上記の増幅手段としてMCPを含まない増幅手段を用いるのが好ましい。すなわち、MCPを含まない増幅手段を用いれば、中性子線等がMCPに影響を与えないので、これらの粒子線によるノイズを排除できる。

図面の簡単な説明

図1は、第1実施形態に係るストリークカメラ装置の構成を示す概略図である。

図2A、図2B、図2C、図2D、図2E、図2F、図2G、図2H、図2I、図2Jは、第1実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

図3は、第2に係るストリークカメラ装置の実施形態の構成を示す概略図である。

図4A、図4B、図4C、図4D、図4E、図4F、図4Gは、第2実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

図5は第3実施形態に係るストリークカメラ装置の構成を示す概略図である。

図6A、図6B、図6C、図6D、図6E、図6F、図6G、図6H、図6I、図6Jは、第3実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

図7は従来のストリークカメラ装置の第1例の構成を示す概略図である。

図8 A、図8 B、図8 C、図8 D、図8 E、図8 F、図8 G、図8 Hは、第1例の従来のストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

図9は従来のストリークカメラ装置の第2例の構成を示す概略図である。

図10 A、図10 B、図10 C、図10 D、図10 E、図10 F、図10 G、図10 H、図10 Iは第2例の従来のストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

発明を実施するための最良の形態

以下、実施形態に係るストリークカメラ装置について、添付図面を参照しながら説明する。なお、同一の要素には同一の符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係るストリークカメラ装置の概略図である。また、図2 A、図2 B、図2 C、図2 D、図2 E、図2 F、図2 G、図2 H、図2 I、図2 Jは、第1実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するタイミングチャートである。

本実施形態によるストリークカメラ装置1は、被測定光強度の時間的変化をストリーク像へと変換して蛍光面2 a上に表示するストリーク管2と、ストリーク像を増幅して蛍光面3 a上に表示するイメージインテンシファイア3と、イメージインテンシファイア3の蛍光面3 aに形成される増幅されたストリーク像を、光学系4を通して撮像するインターライン型CCDカメラ5と、インターライン型CCDカメラ5の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるCCDカメラ駆動回路7と、CCDカメラ駆動回路7がインターライン型CCDカメラ5の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを被測定光R（X線：エネルギー線）が放出される時点よりも遅延させる制御回路10と、ストリーク管2の動作を制御するストリーク掃引回路

6とを備えている。また、ストリークカメラ装置1の外部には、測定対象である試料9と、試料9を励起するレーザ装置8とが設けられている。

ストリーク管2は、内部が真空に保たれた円筒状のチューブ2bを備えている。このチューブ2bの被測定光Rが入射する面には光電面2cが設けられている。光電面2cは光を電子に変換する機能を有しており、被測定光Rが光電面2cに入射すると、被測定光Rの入射面と反対側の面から電子が放出される。

また、チューブ2b内部において、光電面2cと対向する位置に加速電極2dが設けられている。この加速電極2dは光電面2cで発生した電子を加速するものである。さらに、チューブ2bの内部において、加速電極2dに対して光電面2cと反対側の位置に一对の偏向板2eが備えられている。この偏向板2eには、ストリーク掃引回路6からストリーク掃引電圧 V_s が印加される。このストリーク掃引電圧 V_s によって、加速電極2dで加速された電子は偏向される。さらに、チューブ2bの被測定光Rが入射する面と反対側の面には、蛍光面2aが設けられている。

この蛍光面2aには、加速電極2dで偏向された電子が衝突する。電子が衝突すると蛍光面2aは発光するので、蛍光面2a上に衝突した電子の分布に応じた光像、すなわちストリーク像が形成される。なお、本実施形態及び第2～4実施形態においては、ストリーク管2の蛍光面2aにはP-43が使用されている。また、チューブ2bの外部には、チューブ2bの側面を取り囲むようにコイル2fが設けられている。このコイル2fは、加速電極2dで加速された電子を集束するものである。

ストリーク像を増幅する増幅手段であるイメージンスフィア3は、光が入射する面がストリーク管2の蛍光面2aと対向するように設けられている。このイメージンスフィア3の内部には、電子増倍器であるMCP（図示せず）が備えられている。ストリーク管2の蛍光面2a上のストリーク像から発せられた光が、イメージンスフィア3に入射すると、入射面に設けられ

た光電面 3 b の光の入射面と反対側の面から電子が放出される。この電子は MCP により増倍された後に、蛍光面 3 a に衝突する。その結果、蛍光面 3 a 上には増幅されたストリーク像が形成される。

インターライン型 CCD カメラ 5 は、光の入射面がイメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a と対向するように設けられており、この蛍光面 3 a 上の光像を撮像する役割を果たす。

CCD カメラ駆動回路 7 は、インターライン型 CCD カメラ 5 を駆動するためのものであり、特に、このインターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換える機能を有する。

制御回路 10 は、CCD カメラ駆動回路 7 がインターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態を電荷掃き捨て動作から露光動作へと切り換えるタイミング（露光開始タイミング）を制御するものである。具体的には、制御回路 10 は、ストリーク掃引回路 6 から送信される CCD トリガ信号 T2 を受信すると、一定の遅延時間 δ だけ経過した後に遅延 CCD トリガ信号 T3 を CCD カメラ駆動回路 7 へと送信する機能を有する。

このように構成されたストリークカメラ装置 1 の動作を図 1 と図 2 A ~ 図 2 J を参照しながら説明する。

まず、レーザ装置 8 からレーザ光 L が試料 9 に照射される以前に、インターライン型 CCD カメラ 5 は CCD カメラ駆動回路 7 により電荷掃き捨て動作状態に設定される。この動作状態においては、インターライン型 CCD カメラ 5 内の電荷はすべて外部へ転送されてしまうので、インターライン型 CCD カメラ 5 は無電荷状態にある。

パルス状のレーザ光 L が試料 9 に照射されると同時に（図 2 A）、試料 9 からは被測定光 R（X線）が放出される（図 2 B）。この被測定光 R がストリーク管 2 の光電面 2 c に入射すると同時に、光電面 2 c の被測定光 R の入射側とは反対側の面から電子が放出される。この電子は加速電極 2 d により加速され、蛍光面 2 a

に向かって飛行していく。ここで、電子は、光電面 2 c に被測定光 R が照射されている間放出され続けるため、ビーム状となって蛍光面 2 a へと飛行していく。

レーザー光 L が試料 9 に照射されるのに先立ってレーザー装置 8 からストリーク掃引トリガ信号 T 1 がストリーク掃引回路 6 へと送信される (図 2 C)。ストリーク掃引回路 6 は、ストリーク掃引トリガ信号 T 1 を受信すると、電圧値が時間に対して直線的に変化するストリーク掃引電圧 V_s を偏向板 2 e に印加する (図 2 D)。このストリーク掃引電圧 V_s により飛行中の電子は偏向されて蛍光面 2 a に衝突する。電子が衝突した蛍光面 2 a は発光し、蛍光面 2 a 上にはストリーク像が形成される。

そして、ストリーク像は、イメージインテンシファイア 3 により増幅され、イメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a 上に増幅されたストリーク像が形成される。なお、被測定光 R が試料 9 から放出される時点から、イメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a 上に増幅されたストリーク像が形成されるまでの間に時間遅れはなく、被測定光 R の放出と同時にイメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a 上に増幅されたストリーク像が形成される。

また、パルス状のレーザー光 L が試料 9 に照射されるのと同時に、ストリーク掃引回路 6 から CCD トリガ信号 T 2 が制御回路 10 へと送信される (図 2 F)。ここで、CCD トリガ信号 T 2 がストリーク掃引回路 6 から送信されるのと、制御回路 10 が CCD トリガ信号 T 2 を受信されるのは同時である。制御回路 10 は、CCD トリガ信号 T 2 を受信すると、一定の遅延時間 δ だけ経過してから、遅延 CCD トリガ信号 T 3 を CCD カメラ駆動回路 7 へと送信する (図 2 G)。

遅延 CCD トリガ信号 T 3 が制御回路 10 から送信されるのと、CCD カメラ駆動回路 7 に遅延 CCD トリガ信号 T 3 が受信されるのは同時である。そして、CCD カメラ駆動回路 7 は、遅延 CCD トリガ信号 T 3 を受信すると同時に、指令信号 S をインターライン型 CCD カメラ 5 へと発信する。インターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態は、この指令信号 S を受信すると同時に、電荷掃き捨て

動作状態から露光動作状態へと切り換わる。すなわち、インターライン型CCDカメラ5は露光を開始する(図2J)。

このようにして、イメージインテンシファイア3の蛍光面3a上に形成された増幅されたストリーク像が光学系4を通してインターライン型CCDカメラ5により撮像される。

以上説明したように、試料9から被測定光Rが放出される時点と、制御回路10がCCDトリガ信号T2を受信する時点は同時である。また、遅延CCDトリガ信号T3が制御回路10から送信される時点と、インターライン型CCDカメラ5の動作状態は電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換わる時点は同時である。遅延CCDトリガ信号T3が制御回路10から送信される時点は、制御回路10がCCDトリガ信号T2を受信する時点に対して遅延時間 δ 分だけの遅れがある。

したがって、インターライン型CCDカメラ5の動作状態は電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換わる時点、すなわちインターライン型CCDカメラ5が露光を開始する時点は、試料9から被測定光Rが放射される時点よりも遅延時間 δ だけ遅延される。

本実施形態のストリークカメラ装置においては、制御回路10により、被測定光Rが放出される時点よりも一定の遅延時間 δ の後にインターライン型CCDカメラ5が露光を開始するよう構成されているため、図2Eと図2Jとを比較するとわかるように、試料9から放出された中性子線が十分に減衰してからインターライン型CCDカメラ5が露光を開始する。

そのため、インターライン型CCDカメラ5が露光中に受ける中性子線等の影響は低減される。また、CCDカメラ5はインターライン型であり、露光開始以前にはCCDカメラ駆動回路7により電荷掃き捨て動作状態に設定される。したがって、X線と同時に放出された中性子線あるいは中性子線から二次的に生成される α 線や陽子がインターライン型CCDカメラ5に入射しても、これらの粒子

線によりインターライン型CCDカメラ5内に誘起された電荷は掃き捨てられ、ノイズとして検出されることはない。

また、インターライン型CCDカメラ5が露光を開始する時点においては、ストリーク管2の蛍光面2aの残光作用によりストリーク像が残像しているので、ストリーク像はインターライン型CCDカメラ5により撮像される(図2H、図2I及び図2Jを参照)。

したがって、中性子線等に起因したノイズが低減された状態で、被測定光Rにより形成されるストリーク像を測定することができる。

(第2実施形態)

図3は、第2実施形態に係るストリークカメラ装置の構成を示す概略図である。図4A、図4B、図4C、図4D、図4E、図4F、図4Gは、第2実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

第2実施形態によるストリークカメラ装置20においては、第1実施形態における制御回路10の代わりに、図3に示すように、制御回路12がレーザ装置8とCCDカメラ駆動回路7とに接続されるよう設けられている。この制御回路12により、レーザ装置8からレーザ光Lが試料9へと放出されるタイミングと、CCDカメラ駆動回路7がインターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングとが制御される。

第2実施形態によるストリークカメラ装置20において、試料9から放出された被測定光Rにより形成されるストリーク像が、イメージインテンシファイア3により増幅され、イメージインテンシファイア3の蛍光面3aに増幅されたストリーク像が形成されるという一連の動作は、図4A、図4B、図4C、図4D、に示されるように、第1実施形態のストリークカメラ装置1における動作と同様である。以下、動作の異なる点について説明する。

ストリークカメラ装置20においては、制御回路12からレーザトリガ信号T4がレーザ装置8へと送信され、このレーザトリガ信号T4を受信したレーザ装

置 8 からレーザー光 L が試料 9 へと放出される。さらに、制御回路 12 から CCD トリガ信号 T 5 が CCD カメラ駆動回路 7 へと送信される。そして、この CCD トリガ信号 T 5 を受信した CCD カメラ駆動回路 7 からの指令信号 S により、インターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態は電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り変わる。(すなわち露光が開始される。)

ここで、インターライン型 CCD カメラ 5 が露光を開始するタイミングは、制御回路 12 から送信されるレーザートリガ信号 T 4 と CCD トリガ信号 T 5 との送信時点の差により任意に決定される。例えば CCD トリガ信号 T 5 をレーザートリガ信号 T 4 よりも早く送信するようにすれば、インターライン型 CCD カメラ 5 は被測定光 R の放出時点よりも早く露光を開始する (図 4 E)。

また、CCD トリガ信号 T 5 とレーザートリガ信号 T 4 とを同時に送信するようにすれば、インターライン型 CCD カメラ 5 は被測定光 R の放出と同時に露光を開始する (図 4 F)。さらに、CCD トリガ信号 T 5 をレーザートリガ信号 T 4 よりも遅く送信するようにすれば、インターライン型 CCD カメラ 5 は被測定光 R の放出時点よりも遅く露光を開始する (図 4 G)。

このように、第 2 実施形態においては、CCD カメラ駆動回路 7 がインターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミング (露光開始タイミング) を、制御回路 12 によって被測定光 R が放出される時点よりも一定期間早い時点から一定期間遅い時点までの間に任意に設定できるよう構成したので、得ようとする信号と中性子線等に起因したノイズとの強度の比 (すなわち S/N 比) を確認しながら、測定を行うことができる。そのため、測定の精度を向上させることができる。

なお、第 2 実施形態のストリークカメラ装置 20 においては、インターライン型 CCD カメラの露光開始タイミングを、被測定光 R が放出される時点よりも一定期間早い時点から一定期間遅い時点までの間に設定するよう制御回路 12 を構成されるが、その設定可能範囲については、試料の材質、ストリーク管 2 及びイ

メージインテンシファイア3の蛍光面3aの残光時間、レーザ光の強度あるいはレーザ光照射時間などの測定条件を勘案して決定すれば良い。

(第3実施形態)

図5は、第3実施形態に係るストリークカメラ装置の構成を示す概略図である。図6A、図6B、図6C、図6D、図6E、図6F、図6G、図6H、図6I、図6Jは、第3実施形態によるストリークカメラ装置の動作を説明するタイミングチャートである。

第3実施形態によるストリークカメラ装置30においては、第1実施形態の構成に加えて、図5に示すように、ストリーク像を増幅する増幅手段を駆動するイメージインテンシファイア駆動回路11が設けられている。このイメージインテンシファイア駆動回路11は、制御回路10と結線されており、遅延CCDトリガ信号T3を受信する。この場合、イメージインテンシファイア駆動回路11と制御回路10とによって、ストリーク像を増幅する増幅手段（イメージインテンシファイア3）を被測定光Rが放出される時点よりも遅延させて駆動するための駆動手段が構成される。

第3実施形態のストリークカメラ装置においては、試料9から放出される被測定光Rの強度の時間的変化がストリーク管2の蛍光面2a上にストリーク像として表示される動作は、図6A、図6B、図6C、図6D、図6E、図6F、図6G、図6H、図6Jに示されるように、上述した第1実施形態の動作と同様である。以下では、第1実施形態の動作と異なる点についてのみ説明する。

制御回路10からの遅延CCDトリガ信号T3は、CCDカメラ駆動回路7ばかりではなく、イメージインテンシファイア駆動回路11へも送信される。イメージインテンシファイア駆動回路11は、遅延CCDトリガ信号T3を受信すると同時にイメージインテンシファイア3内のMCP（図示せず）に電圧を印加する。この時点において、ストリーク管2の蛍光面2a上にストリーク像が残像しているため、ストリーク像は、イメージインテンシファイア3により増幅され、

イメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a 上に増幅されたストリーク像が形成される (図 6 I)。

一方、遅延 CCD トリガ信号 T 3 は、イメージインテンシファイア駆動回路 11 に受信されるのと同時に CCD カメラ駆動回路 7 にも受信されるので、CCD カメラ駆動回路 7 がインターライン型 CCD カメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングは、イメージインテンシファイア 3 内の MCP への電圧が印加されるのと同時である (図 6 G、図 6 I 及び図 6 J)。すなわち、イメージインテンシファイア 3 の蛍光面 3 a 上に増幅されたストリーク像が形成されるのと同時に、インターライン型 CCD カメラ 5 の動作状態は電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えられ、蛍光面 3 a 上の増幅されたストリーク像は光学系 4 を通してインターライン型 CCD カメラ 5 により撮像される。

以上のように、第 3 実施形態においては、イメージインテンシファイア駆動回路 11 を設け、このイメージインテンシファイア駆動回路 11 が制御回路 10 からの遅延 CCD トリガ信号 T 3 を受信するように構成されているので、インターライン型 CCD カメラ 5 の露光ばかりでなく、イメージインテンシファイア 3 内の電子増倍器である MCP への電圧印加をも遅延させることができる。

そのため、図 6 E と図 6 I を比較すると分かるように、試料 9 から放出される中性子線が十分に減衰してから、MCP へ電圧が印加される。その結果、中性子線あるいは中性子線から二次的に生成される α 粒子や陽子により MCP において誘起される電子が MCP により増倍されることはなく、MCP に与える中性子線等の影響を低減できる。

(第 4 実施形態)

次に、第 4 実施形態に係るストリークカメラ装置について説明するが、この実施形態では、第 1 実施形態において使用された MCP を内蔵したイメージインテンシファイア 3 に代えて、MCP を含まず構成されたイメージインテンシファ

イアが使用される(図1参照)。すなわち、光電面3bと蛍光面3a間とは直接対向している。詳説すれば、このイメージインテンシファイアは、ストリーク管2側に設けられた光電面3bと、CCDカメラ5側に設けられた蛍光面3aとを備え、光電面3bと蛍光面3aとは、光電面3bで発生した電子が、この電子を加速するための電極(必要に応じて蛍光面3bの内側に設けられた金属膜)以外を介することなく、蛍光面3aに直接入射するように、対向している。その他の装置構成及び測定動作は全て第1実施形態と同一である。

中性子線等がイメージインテンシファイアに与える影響は、主にMCPに対するものなので、MCPを含まないイメージインテンシファイアであれば、中性子線等がイメージインテンシファイアに与える影響を抑えることができる。

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、さらに様々な変形が可能である。

上記第1実施形態においては、ストリーク掃引回路6とCCDカメラ駆動回路7との間に制御回路10を設けるよう構成したが、これに限られるものではない。インターライン型CCDカメラ5の露光開始タイミングを被測定光Rが放出される時点に対して遅延させることができれば、制御回路10を例えばCCDカメラ駆動回路7とCCDカメラ5との間に設けるようにしてもよい。

また、上記第2実施形態において、ストリーク像を増幅する増幅手段であるイメージインテンシファイア3を、被測定光Rが放出される時点より遅延させて駆動するため駆動手段を備えるよう構成し、MCPへの電圧印加のタイミングを遅延させるようにしてもよい。

また、第2実施形態のストリークカメラ装置20において、第4実施形態のストリークカメラ装置30に用いたMCPを含まず構成されたイメージインテンシファイアを使用するようにしてもよい。

また、上記のいずれの実施形態においても、蛍光面としてP-43を有するストリーク管を用いたが、どのような蛍光物質からなる蛍光面を選択するかについ

ては、蛍光面の残光時間と中性子線が大量に発生する期間とを考慮して決定すれば良い。

また、中性子線等が影響を与えるのは、主にCCDカメラとMCPであるが、中性子線等がイメージインテンシファイア3の蛍光面3aへ衝突し、蛍光面3a上に中性子線等による光像が形成される可能性が僅かながらある。このような中性子線等によるイメージインテンシファイア3の蛍光面3aへの影響を排除するためには、残光の短い蛍光物質をイメージインテンシファイア3の蛍光面3aとして使用するのが好ましい。

すなわち、残光時間が短ければ、中性子線等がイメージインテンシファイア3の蛍光面3aに衝突した場合でも、インターライン型CCDカメラ5が露光を開始する以前に、蛍光面3a上の中性子線等により形成される光像は短時間で減衰する。したがって、中性子線等による光像がインターライン型CCDカメラ5により撮像され難くなる。そのため、中性子線等が蛍光面に与える影響を低減できる。

上述のストリークカメラ装置においては、CCDカメラ駆動回路がCCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、制御回路により被測定光の放出時点から遅延させるようにしているので、試料から放出される中性子線が減衰してから、CCDカメラの露光を開始することができる。

この結果、CCDカメラ露光中に中性子線あるいは中性子線から二次的に生じる α 粒子や陽子に起因するノイズを低減できる。さらに、インターライン型CCDカメラを用い、このインターライン型CCDカメラを露光開始前に電荷掃き捨て動作状態としておくことによって、インターライン型CCDカメラ内で中性子線により誘起される電荷を掃き捨てることができる。その結果、被測定光と中性子線とが試料より放出された時点から露光が始まる時点までの間にインターライン型CCDカメラ内で中性子線等により生じるノイズをも低減できる。

また、上述のストリークカメラ装置において、CCDカメラ駆動回路がインターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、被測定光が放出される時点よりも一定の期間早い時点から遅い時点までの間に設定する制御回路を備えるよう構成すれば、得ようとする信号と中性子線等に起因したノイズとの強度の比（すなわちS/N比）を確認しながら、測定を行うことができる。そのため、測定の精度を向上させることができる。

また、上述のストリークカメラ装置において、ストリーク像を増幅する増幅手段を被測定光が放出される時点よりも遅延させて駆動するための駆動手段を設けて、この駆動手段により、ストリーク像を増幅する増幅手段に内蔵されたMCPに電圧を印加するタイミングを遅延させるようにすれば、中性子線が大量に発生する期間には、MCPには電圧が印加されないため、中性子線等によりMCP内で電子が誘起されたとしても、この電子が増倍されることはない。したがって、中性子等の粒子線により増幅手段で生じるノイズを低減することができる。

また、MCPを含まない増幅手段を用いるようにすれば、中性子等がMCPに影響を与えることがなく、これらの粒子線により増幅手段で生じるノイズを排除できる。

産業上の利用可能性

本発明は、被測定光強度の時間的変化をストリーク像として計測するストリークカメラ装置に利用できる。

請求の範囲

1. 被測定光強度の時間的変化をストリーク像へ変換するストリーク管と、

前記ストリーク像を増幅する増幅手段と、

前記増幅手段により増幅されたストリーク像を撮像するインターライン型CCDカメラと、

前記ストリーク管の動作を制御するストリーク掃引回路と、

前記インターライン型CCDカメラの動作状態を、電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるCCDカメラ駆動回路と、

前記CCDカメラ駆動回路が前記インターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、被測定光が放出される時点よりも遅延させる制御回路と、
を備えることを特徴とするストリークカメラ装置。

2. 前記制御回路が、前記CCDカメラ駆動回路が前記インターライン型CCDカメラの動作状態を電荷掃き捨て動作状態から露光動作状態へと切り換えるタイミングを、被測定光が放出される時点よりも一定期間早い時点から一定期間遅い時点までの間に設定できるように構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のストリークカメラ装置。

3. 被測定光が放出される時点よりも遅延させて前記増幅手段を駆動する駆動手段をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のストリークカメラ装置。

4. 前記増幅手段がMCPを含まず構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のストリークカメラ装置。

5. 被測定物からのエネルギー線が入射するストリーク管の後段にインターライン型CCDカメラを配置し、前記CCDカメラの露光開始タイミングを、前記被測定物から前記ストリーク管に入射するエネルギー線の入射後に設定した

ことを特徴とするストリークカメラ装置。

6. 前記CCDカメラの露光開始タイミングは、エネルギー線の入射時よりも数十 μ sec遅延することを特徴とする請求の範囲第5項に記載のストリークカメラ装置。

7. 前記ストリーク管と前記CCDカメラとの間にイメージインテンシファイアを備えたことを特徴とする請求の範囲第5項に記載のストリークカメラ装置。

8. 前記イメージインテンシファイアは、前記ストリーク管側に設けられた光電面と、前記CCDカメラ側に設けられた蛍光面とを備え、前記光電面と前記蛍光面とは、前記光電面で発生した電子が、この電子を加速するための電極以外を介することなく、前記蛍光面に直接入射するように対向していることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のストリークカメラ装置。

図1

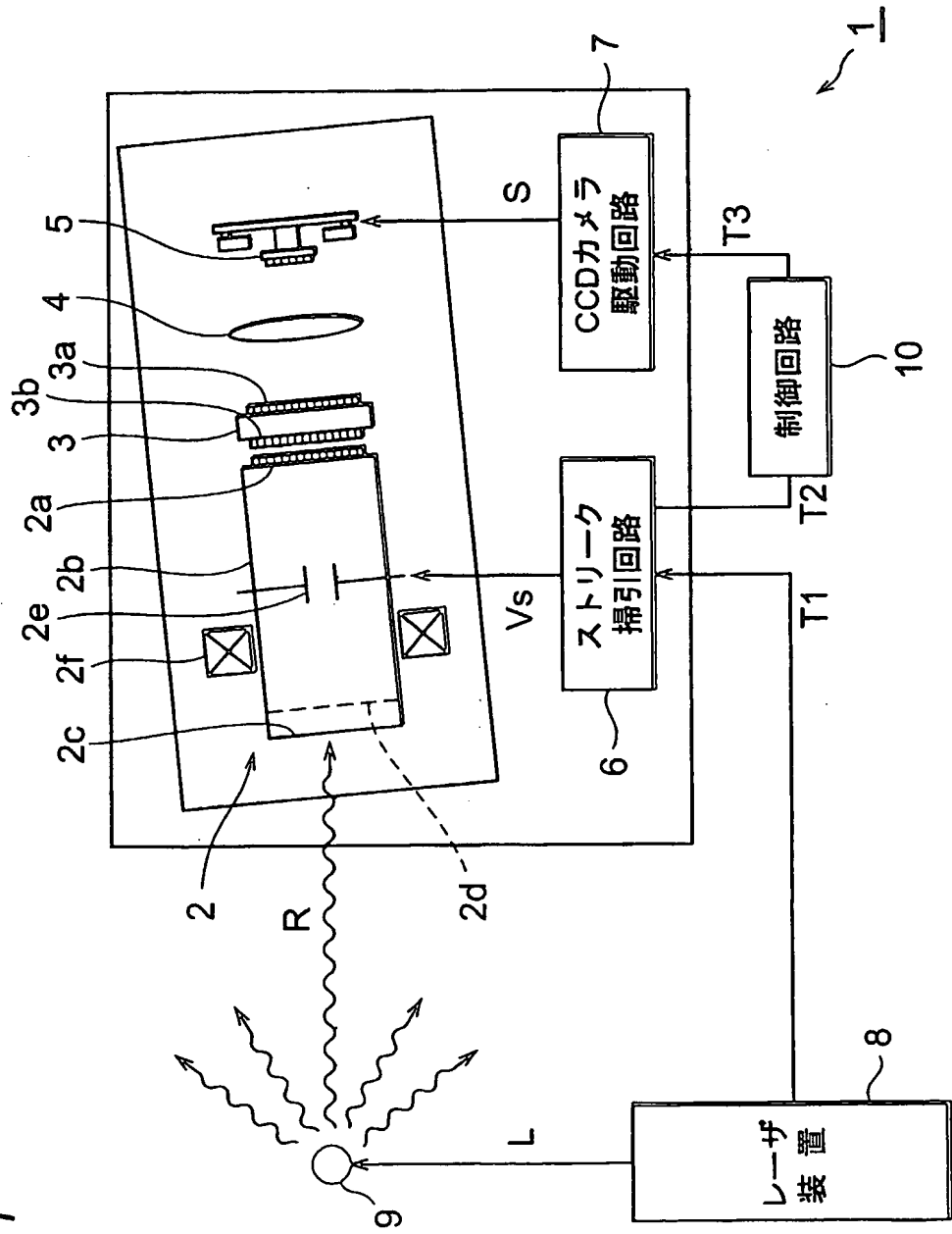


図2A レーザ光照射

図2B 試料から放出される
X線強度変化

図2C ストリーク掃引
トリガ信号 T1

図2D ストリーク掃引
電圧 V_s

図2E 試料から放出される
中性子線強度変化

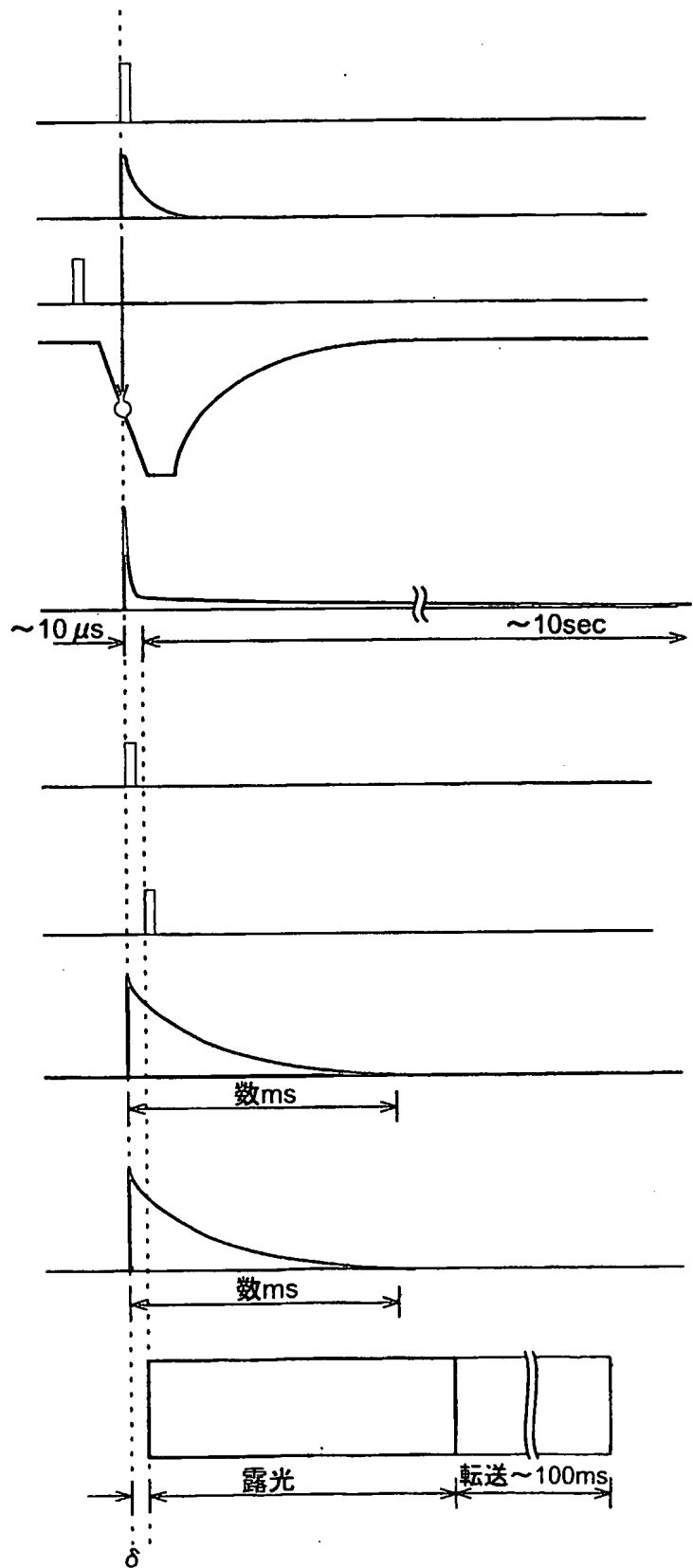
図2F CCDトリガ信号 T2

図2G 遅延CCD
トリガ信号 T3

図2H ストリーク管蛍光面
上のストリーク像の
輝度変化

図2I イメージインテンシ
ファイア蛍光面上の
光像の輝度変化

図2J CCDカメラ露光



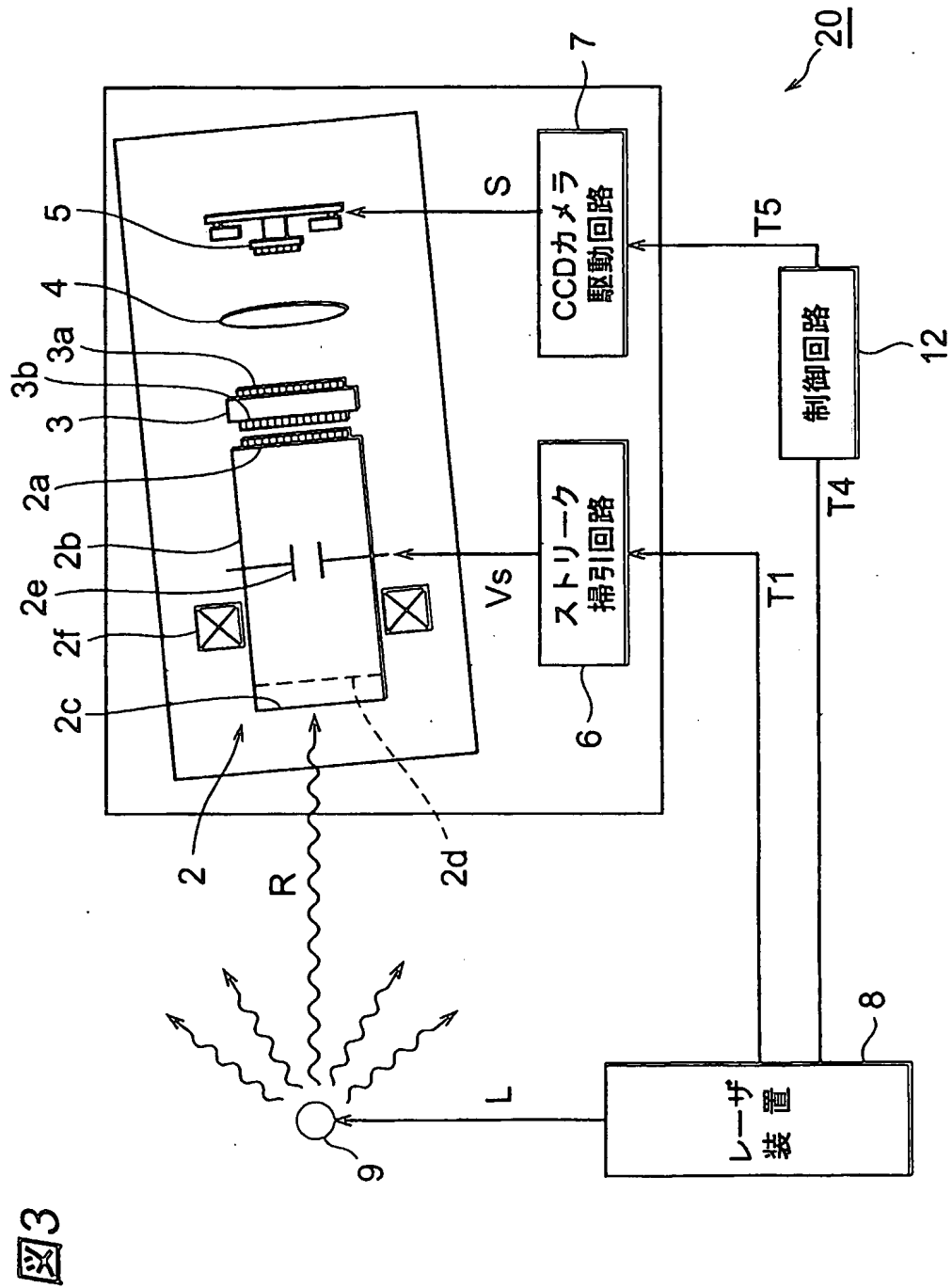


図4A レーザトリガ信号 T4

図4B レーザ光照射

図4C 試料から放出されるX線強度変化

図4D イメージインテンシファイア蛍光面上の光像の輝度変化

図4E レーザ光照射より速く CCDカメラの露光を開始する場合

図4F レーザ光照射と同時に CCDカメラの露光を開始する場合

図4G レーザ光照射より遅く CCDカメラの露光を開始する場合

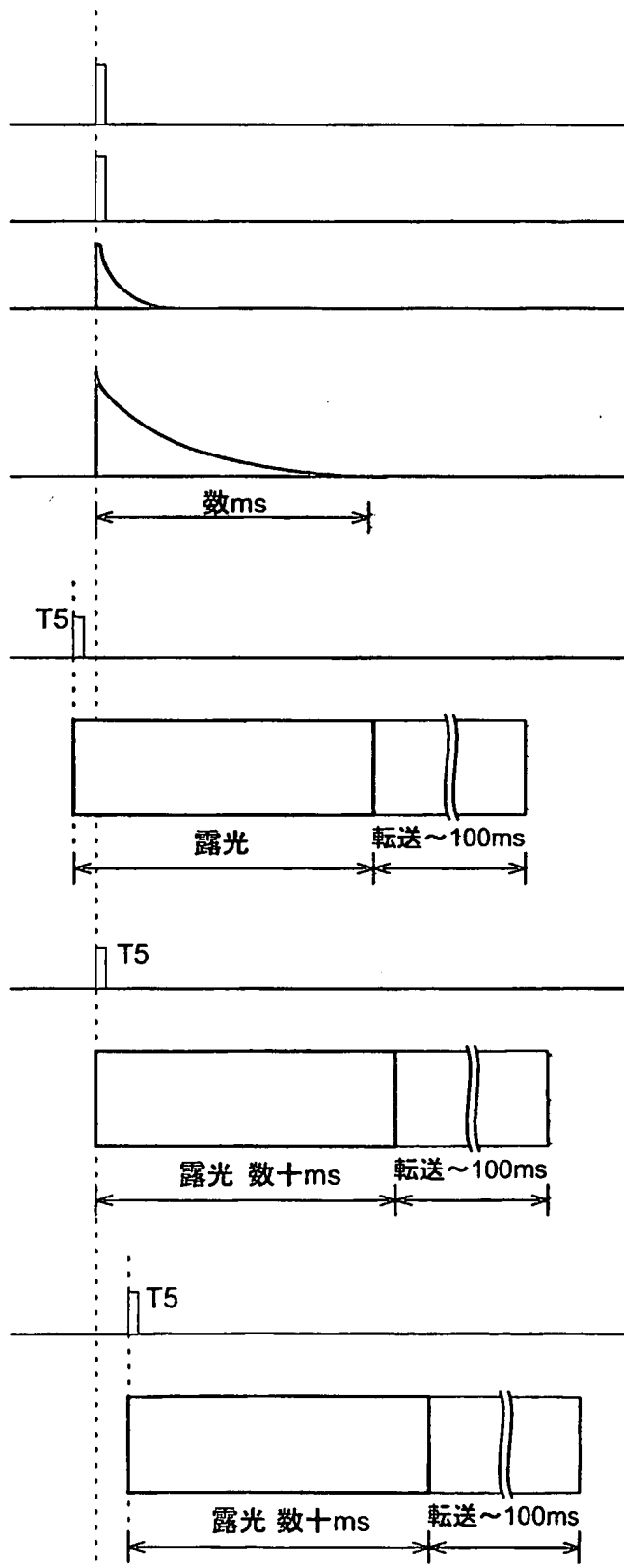


図6A

レーザ光照射

図6B

試料から放出される
X線強度変化

図6C

ストリーク掃引
トリガ信号 T1

図6D

ストリーク掃引
電圧 V_s

図6E

試料から放出される
中性子線強度変化

図6F

CCDトリガ信号 T2

図6G

遅延CCD
トリガ信号 T3

図6H

ストリーク管蛍光面
上のストリーク像の
輝度変化

図6I

イメージインテンシ
ファイア蛍光面上の
光像の輝度変化

図6J

CCDカメラ露光

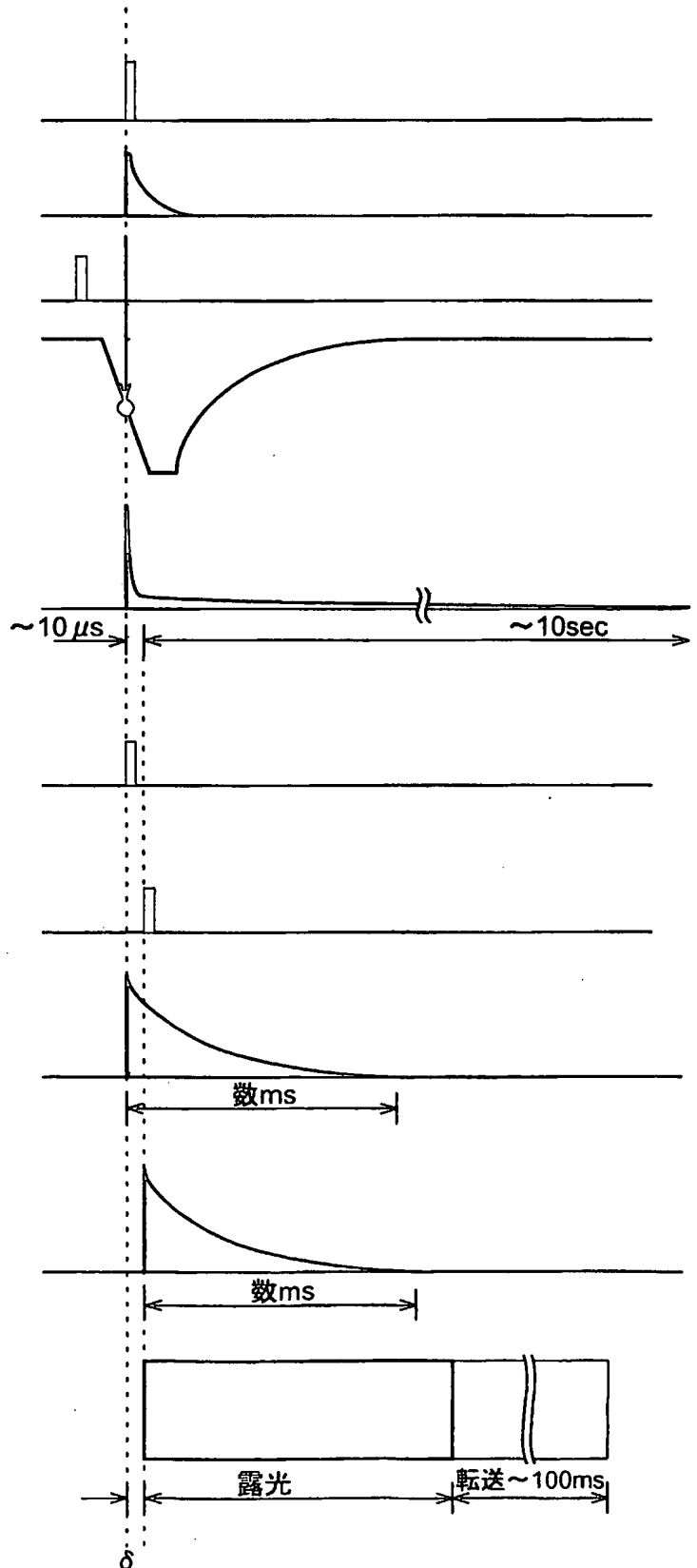
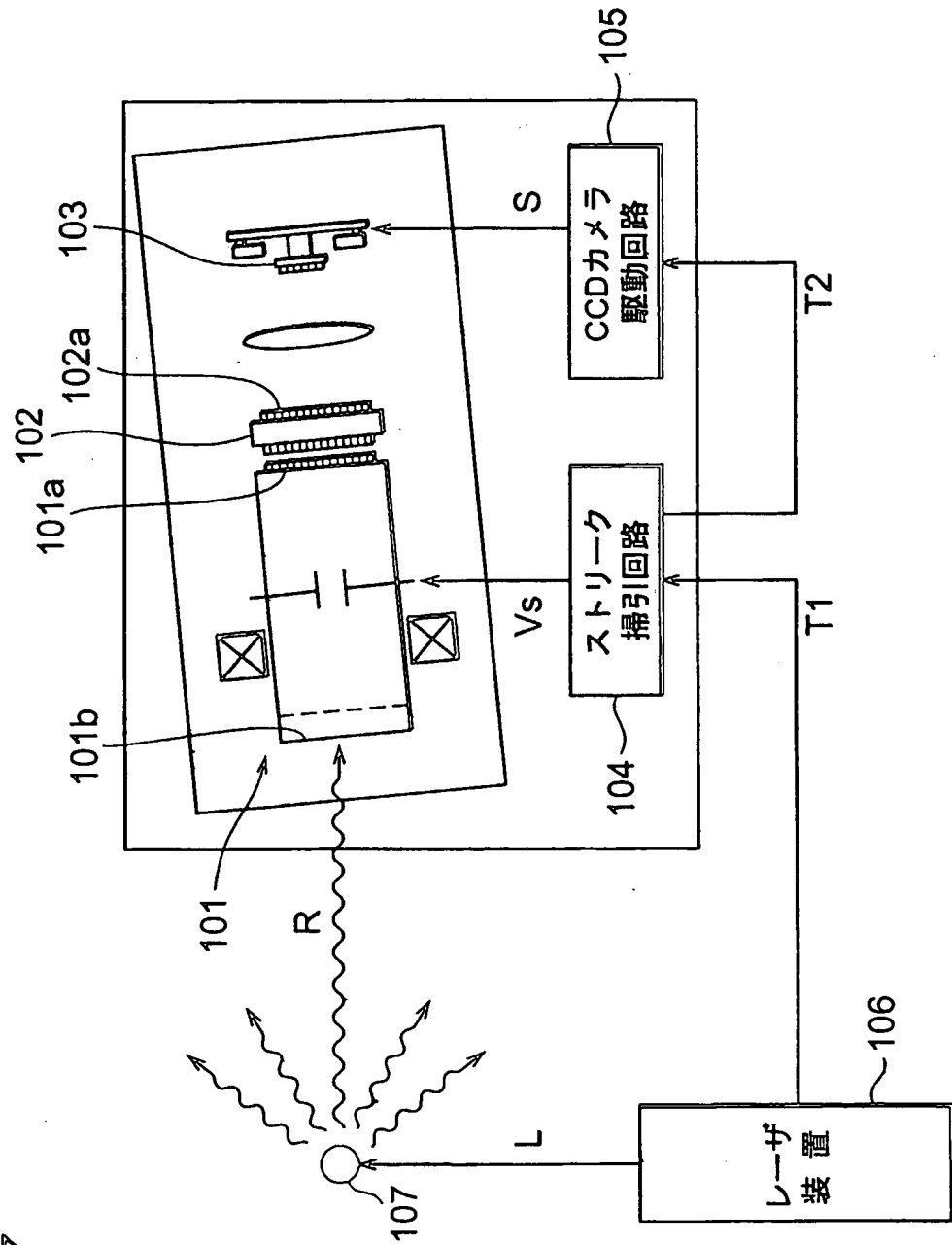


図7



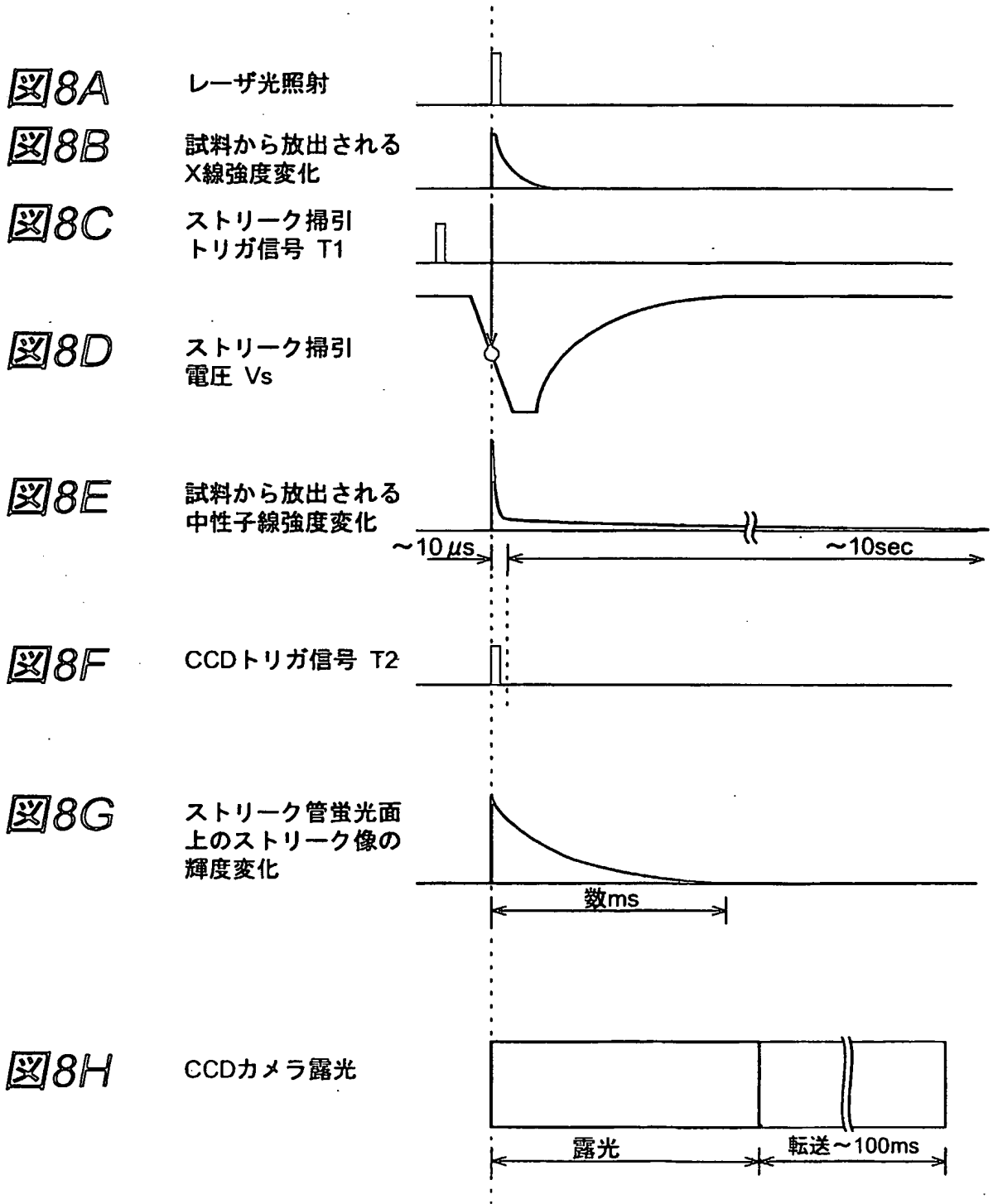


図9

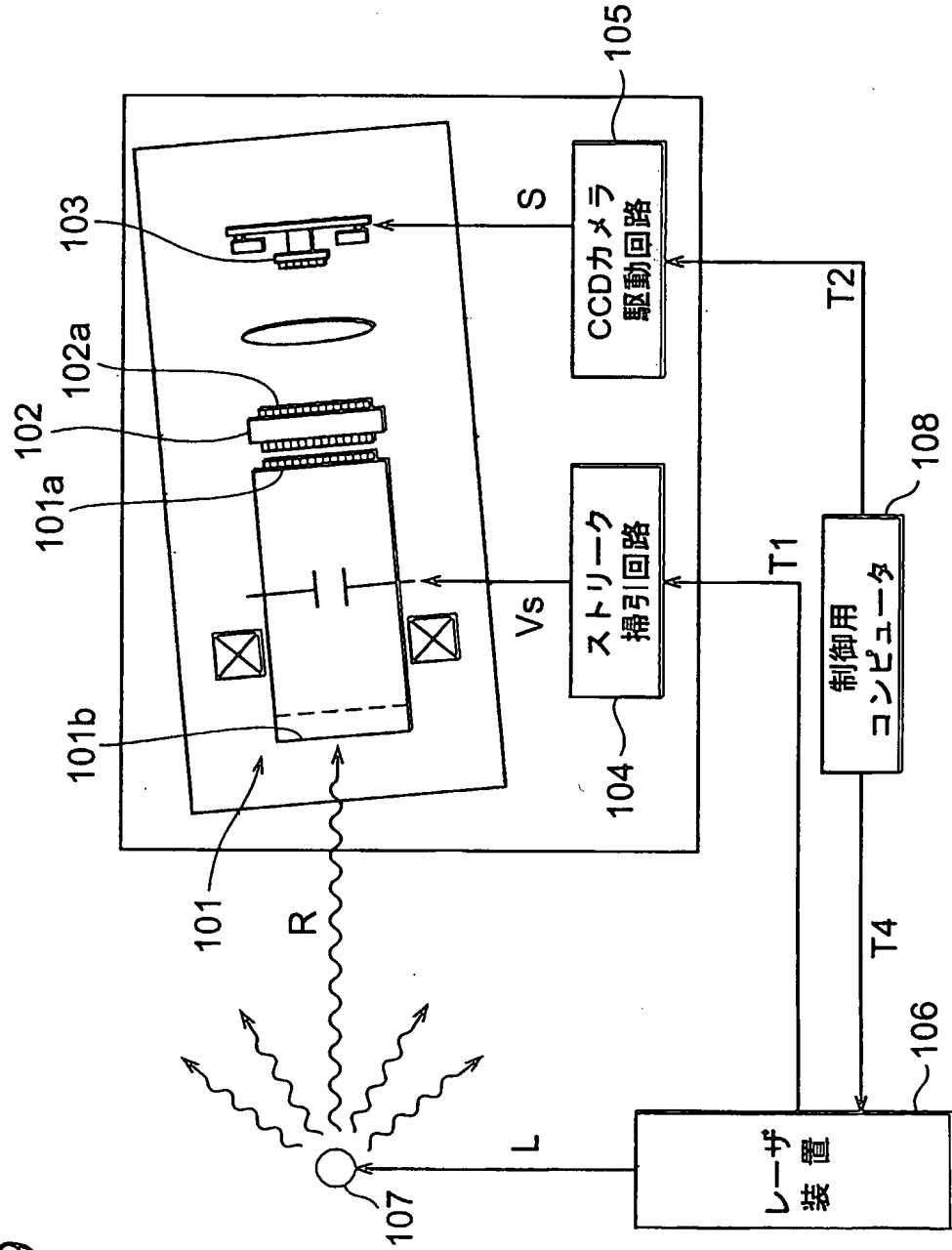


図10A

レーザトリガ
照射 T4

図10B

レーザ光照射

図10C

試料から放出される
X線強度変化

図10D

ストリーク掃引
トリガ信号 T1

図10E

ストリーク掃引
電圧 Vs

図10F

試料から放出される
中性子線強度変化

図10G

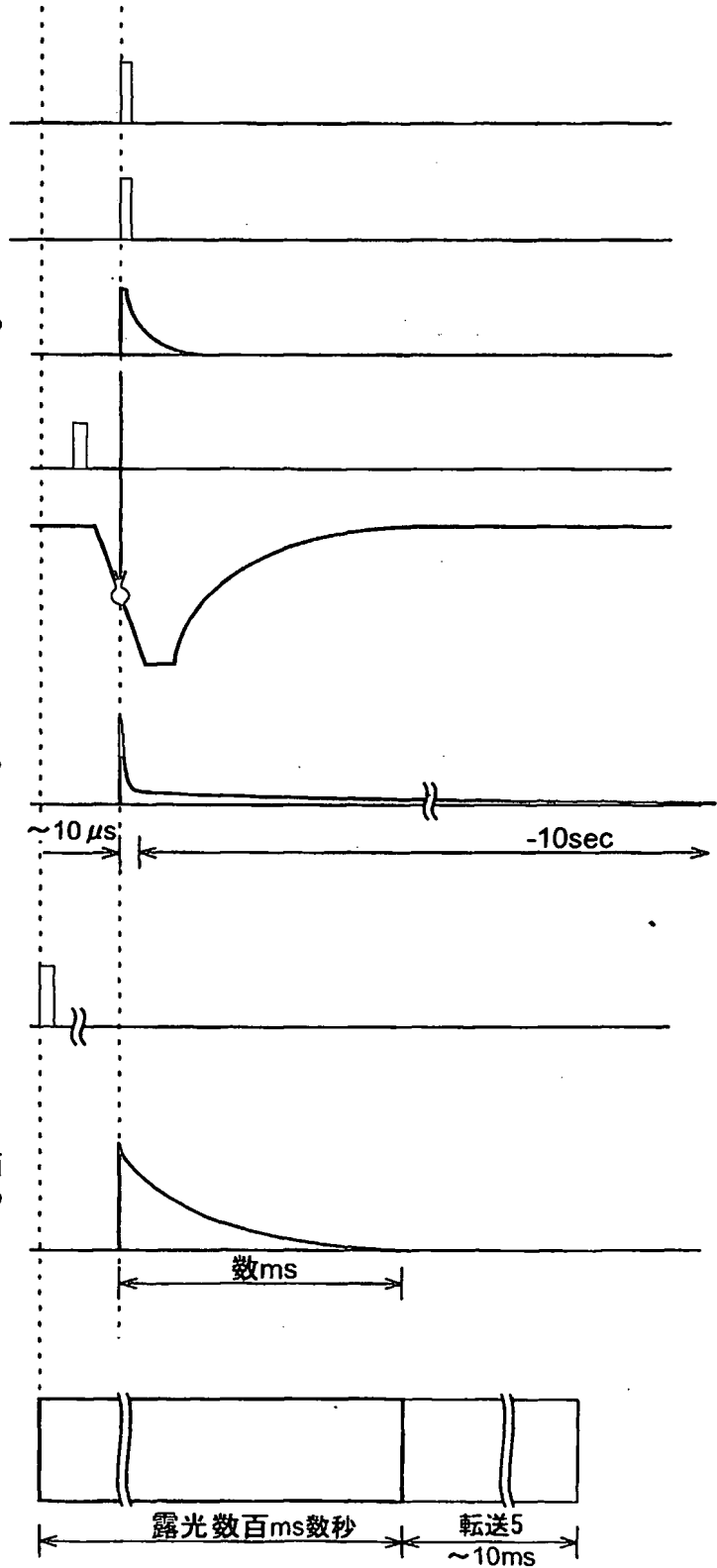
CCDトリガ信号 T2

図10H

ストリーク管蛍光面
上のストリーク像の
輝度変化

図10I

CCDカメラ露光



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/04280

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ G01J 1/42, H04N 5/32		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ G01J 1/00-1/02, G01J 1/42-1/44, G01J 11/00, G01N 23/22, H01J 31/50, H04N 5/32		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 99/29103 A1 (Hamamatsu Photonics K.K.), 10 June, 1999 (10.06.99), Full text; Figs. 1 to 14 & EP 1043890 A1	1-8
A	JP 10-48044 A (Hamamatsu Photonics K.K.), 20 February, 1998 (20.02.98), Full text; Figs. 1 to 9 & EP 829782 A2 & US 5866897 A	1-8
A	JP 5-187914 A (Hamamatsu Photonics K.K.), 27 July, 1993 (27.07.93), Full text; Figs. 1 to 12 & EP 526134 A2 & US 5250795 A	1-8
A	JP 4-262213 A (Sony Tektronix Corporation), 17 September, 1992 (17.09.92), Full text; Figs. 1 to 2 & GB 2245059 A & US 5083849 A & FR 2664388 A	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>		<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
Date of the actual completion of the international search 08 August, 2001 (08.08.01)		Date of mailing of the international search report 21 August, 2001 (21.08.01)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int. Cl⁷ G01J 1/42, H04N 5/32</p>											
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int. Cl⁷ G01J 1/00-1/02, G01J 1/42-1/44, G01J 11/00 G01N 23/22, H01J 31/50, H04N 5/32</p> <p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <p>日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2001年 日本国登録実用新案公報 1994-2001年 日本国実用新案登録公報 1996-2001年</p> <p>国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求の範囲の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>WO 99/29103 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 10. 6月. 1999 (10. 06. 99) 全文 第1-14図 & EP 1043890 A1</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 10-48044 A (浜松ホトニクス株式会社) 20. 2月. 1998 (20. 02. 98) 全文 第1-9図 & EP 829782 A2 & US 5866897 A</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	A	WO 99/29103 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 10. 6月. 1999 (10. 06. 99) 全文 第1-14図 & EP 1043890 A1	1-8	A	JP 10-48044 A (浜松ホトニクス株式会社) 20. 2月. 1998 (20. 02. 98) 全文 第1-9図 & EP 829782 A2 & US 5866897 A	1-8
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号									
A	WO 99/29103 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 10. 6月. 1999 (10. 06. 99) 全文 第1-14図 & EP 1043890 A1	1-8									
A	JP 10-48044 A (浜松ホトニクス株式会社) 20. 2月. 1998 (20. 02. 98) 全文 第1-9図 & EP 829782 A2 & US 5866897 A	1-8									
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>											
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</p> <p>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p> <p>の日の後に公表された文献</p> <p>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「&」 同一パテントファミリー文献</p>											
<p>国際調査を完了した日</p> <p>08. 08. 01</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>21.08.01</p>										
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁 (ISA/JP)</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p>藤原 伸二</p>	<p>2W 9807</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3290</p>									

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 5-187914 A (浜松ホトニクス株式会社) 27. 7月. 1993 (27. 07. 93) 全文 第1-12図 & EP 526134 A2 & US 5250795 A	1-8
A	JP 4-262213 A (ソニー・テクトロニクス株式会社) 17. 9月. 1992 (17. 09. 92) 全文 第1-2図 & GB 2245059 A & US 5083849 A & FR 2664388 A	1-8